

**CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS
DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

SECCION COMPUTACION

**DESARROLLO DE UN ESQUELETO PARA MANEJAR BASES DE
CONOCIMIENTO ESTRATIFICADAS EN TEMAS**

TESIS QUE PRESENTA

MANUEL GONZALEZ HERNANDEZ

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

ESPECIALIDAD EN INGENIERIA ELECTRICA

**DIRECTOR DE TESIS: DR. ADOLFO GUZMAN ARENAS
CODIRECTOR: DRA: ANA MA. MARTINEZ ENRIQUEZ**

**CENTRO DE INVESTIGACION Y DE
ESTUDIOS AVANZADOS DEL
I. P. N.
BIBLIOTECA
INGENIERIA ELECTRICA**

MEXICO



XD

CLASIF.:	95-1
ADQUIS.:	B1-14979
FECHA	18-11-1997
PROCED.:	TESIS-1997

INDICE

	Página
RESUMEN	
INTRODUCCION	1
1. DEFINICION DEL PROBLEMA.	8
1.0 Definición del Problema.	9
1.1 Estereotipo y micromundo.	10
1.2 Dominio de discurso o marco de referencia.	11
1.2.1 Situación actual del dominio de discurso.	12
1.2.2 Prueba fácil y mejor es no moverlo.	13
1.2.3 Los hechos básicos.	14
1.2.4 Los hechos deducidos.	15
1.3 Palabras clave, Inventarios y Factores de Relevancia.	17
1.3.1 Nombres propios y objetos.	18
1.3.1.1 Categorías semánticas y ontológicas.	22
1.3.1.2 La completitud o incompletitud en expresiones.	
1.3.1.3 Caracterización de nombre propio.	
1.3.1.4 Caracterización de objeto.	
1.3.1.5 Nombres propios y saturación.	29
1.3.1.6 Sentido y referencia.	30
1.3.2 Las oraciones y los principios de la semántica.	31
1.3.2.1 Oraciones declarativas.	33
1.3.2.2 Oraciones como nombres propios.	35
1.3.2.3 Nombres genuinos y descripciones.	37
1.3.2.4 Interpretación estandar.	40

1.3.3 Palabras clave. INGENIERIA ELECTRICA	41
1.3.4 Los inventarios de las bases de conocimiento.	42
1.3.4.1 Factores de relevancia dinámicos.	44
1.3.4.2 Peso y longitud de una trayectoria.	45
1.3.4.3 Graficas parciales y subgraficas.	46
2. DIVISION DE UNA BASE DE CONOCIMIENTOS EN TEMAS.	47
2.1 Procedimiento para dividir una base de conocimiento.	49
2.1.1 Ejemplo: división de una base de conocimiento	
2.2 Las metas de la BC después de su división.	52
2.3 Base de conocimiento estratificada en temas.	54
2.4 Rozamiento entre bases de conocimiento.	58
2.5 Dependencia de las bases de conocimiento.	61
3. COMUNICACION ENTRE BASES DE CONOCIMIENTO.	
3.1 Sistemas cooperativos	67
4. LA ARQUITECTURA DEL ESQUELETO COOPERATIVO.	70
4.1 Componentes del esqueleto.	71
4.1.1 Selector de las bases de conocimiento.	72
4.1.2 Criterios para elegir los inventarios.	74
4.1.3 Representación del conocimiento.	74
4.1.3.1 El lenguaje de proposiciones.	76
4.1.4 Relaciones y el algoritmo de Warshall.	78
4.1.4.1 Algoritmo de Warshall.	79

4.1.5 Algoritmo para seleccionar bases de conocimiento.	81
4.1.5.1 Ejemplo: selección de bases de conocimiento.	84
4.2 Configuración de uno o más sistemas expertos.	87
5. COMUNICACION ENTRE SISTEMAS EXPERTOS.	88
5.1 Extensión del conocimiento.	96
5.2 Comunicación de dos o más sistemas expertos.	98
6. EL SISTEMA EXPERTO NODRIZA.	99
6.1 Resultados finales.	100
6.2 Versión del sistema experto nodriza para PC's.	101
CONCLUSIONES.	105
REFERENCIAS.	109

R E S U M E N

Se presenta una arquitectura de Sistemas Expertos Cooperativos (SEC) que maneja varias BCs y configura un Sistema Experto (SE) de primera generación con cada una de ellas, tiene la posibilidad de compartir su información a tiempo de ejecución dejando sus conclusiones en un área común. Para tal efecto utiliza un protocolo de comunicación que consiste en una Tabla de Comunicación (TC) que se establece previamente, indicando que Bases de Conocimiento (BCs) se comunican y que tipos de mensaje se envían o reciben, la selección de las BCs candidatas para una consulta particular es por medio de un enunciado fuente que el usuario usa para explicar su problema y de ahí se establece cuales de las BCs escogidas son más importantes, esto se hace dinámicamente por medio de un Factor de Relevancia (FR) que se obtiene del enunciado fuente. El SEC que se presenta, se comporta como un autómata finito, pues si consideramos a cada estado del autómata como una BC, y el paso de una BC a otra por medio de una función de transición que toma una BC y un mensaje para llegar a otra BC. La BC inicial es determinada por el enunciado fuente, entonces definimos un SEC como una cuádruple: $\langle G, M, \delta, G_j \rangle$ En donde:

G: es el conjunto de BCs.

M: el conjunto de mensajes, que pueden ser enviados o requeridos.

δ : es una función de transición de BCs, definida como la TC

G_j : la BC inicial para alguna j es obtenida de un enunciado fuente y el factor de relevancia FR.

Todas las BCs que se visitan y la BC inicial tienen un área común de donde se leen y depositan los datos. Son evidentes las ventajas con respecto a los SE tradicionales, principalmente en lo que se refiere a seleccionar una o varias BCs por medio de un texto para una consulta y la clasificación de las BCs según su relevancia.

INTRODUCCION

El objetivo principal de esta tesis es mostrar el diseño de la arquitectura de un Sistema Experto Cooperativo (SEC) que utiliza varias bases de conocimiento (BC). Una de sus características es seleccionar una o más BCs con un enunciado fuente en un texto que el usuario usa para explicar su problema. Con las BCs seleccionadas se configuran SEs, ejecutándose uno por uno y si fuera necesario, se establece la comunicación con otras BCs.

De otra manera se puede decir que en este documento se muestra una arquitectura de SECs para tratar problemas con información compartida que proviene de diferentes BCs. Dicha arquitectura se enfoca en BCs relativas a la semántica que el usuario usa en su enunciado fuente como dato inicial y con el cual explica su problema. La idea es comunicar las BCs en el momento que el SEC "solicite" la comunicación a tiempo de ejecución.

Hasta la fecha, en los centros de investigación sobre inteligencia artificial, se han hecho intentos en dar solución al problema de comunicación entre SEs, pues el resolverlo contribuiría a la solución de problemas cuyas características involucran más de una BC. Esto quiere decir que se trata de problemas que se resuelven con más de un experto humano. También en algunos casos conviene contar con información de varios procesos para exportar resultados a BCs que se requieren en otros SEs, y así estos SEs puedan comunicarse.

Resolver el problema de la comunicación de SEs induce a la simulación de procesos que requieren de dominios de experiencia múltiple.

Asimismo el problema de comunicación entre SEs se ha tratado generalmente con arquitecturas de pizarrón [Hayes-Roth, 1983], que consiste básicamente en una área de trabajo común a todos los SEs formados con diferentes bases de información, las cuales son independientes unas de otras. El pizarrón puede ser borrado o modificado, sin embargo la estructura es rígida en relación al concepto de comunicación.

La comunicación entre SEs es un problema que involucra una gran diversidad de tópicos de investigación, al tratar de establecer un intercambio de información entre ellos, las publicaciones sobre el tema son verdaderamente escasas y de las que existen, sólo muestran resultados parciales.

La idea de integrar interacción y cooperación en el desarrollo de sistemas basados en conocimiento ha crecido durante los últimos años y estos hechos "interacción" y "cooperación" dan las características SEs cooperativos.

En el caso particular de esta tesis, la motivación que condujo al tratamiento de este problema se inicia con la idea de situarse en algún punto de una BC a partir de un enunciado fuente que el usuario usa como dato inicial, con la idea de evitar la navegación

en toda la BC. De este planteamiento surge la necesidad de resolver el problema de dividir una BC en partes genéricas, donde cada parte es una BC. Como dichas divisiones engloban conocimiento genérico por eso se les llamó temas. Un tema es un texto o asunto sobre el que versa un discurso, realmente es conocimiento estructurado y genérico. En los siguientes párrafos los términos vecindad, zona o división de una BC son sinónimos de temas aquí en este documento.

Las zonas genéricas en una BC se pensaron con el fin de resolver el problema de navegación en la BC, como comúnmente se hace cuando un SE trata de confirmar una meta. También con estas zonas surgió la idea de comunicar dos o más BCs para el tratamiento de un mismo problema. De esta manera se obtiene la cooperación en forma automática y se pueden tratar problemas que requieren más de un experto humano. El trabajo que aquí se presenta resuelve de manera "sencilla" este tipo de casos, es decir, compartir la información o extender el conocimiento de una o varias BCs para resolver problemas de dominio de experiencia múltiple.

La incógnita de cómo colocarse en la vecindad mencionada de la BC a través del enunciado fuente o texto del usuario, se despejó, usando palabras características (son palabras que se encuentran como componentes de los elementos de las BCs) y que distinguen las zonas de la BC con respecto al texto del usuario. A las palabras características se les denominó palabras clave y con ellas se identifican zonas de conocimiento, es decir, las palabras clave marcan la diferencia entre dos temas desde un punto de vista semántico, por ejemplo "amortiguador" es una palabra clave en un tema que trata con la suspensión de un carro. Por lo tanto una palabra clave, puede ser un componente o parte de un dispositivo, atributo o cualquier cosa que pueda indicar algún contenido semántico, para identificar al tema.

Al intentar de encontrar dichas zonas en una BC, se plantearon diferentes preguntas, tales como: ¿qué se debe hacer en el caso de que el texto del usuario involucre más de una zona de interés?, ¿cómo se pueden compartir los resultados con otras zonas?, ¿cómo se obtienen los datos de algunas reglas de una zona X producidos en otra zona Y? o bien si estando en la zona X, ¿cómo los datos preguntados al usuario en alguna zona Z se pueden transmitir indirectamente a la zona X?; el detectar vecindades relativas al texto del usuario en una base de conocimiento resultó interesante y por demás complicado.

Para encontrar las zonas o vecindades relativas al texto del usuario, se analizó y se vio que en lugar de tratar la BC ya elaborada, sería mejor trabajar con el dominio de discurso o marco de referencia dividiéndolo y construir una BC para cada división. El dominio de discurso o marco de referencia, es un fragmento de la realidad que nos permite visualizar cada uno de los eventos que se suceden y cómo las relaciones entre los objetos de él se manifiestan en toda su magnitud. Debido a la complejidad de tal situación se trató al dominio de discurso como un campo inventado, artificial, en el que los objetos, propiedades y eventos posibles están clara y estrechamente definidos de antemano.

La unión de todos los temas da como consecuencia la BC global de todo el dominio. Se encontró que la división en el dominio de discurso inducía una división en una BC global previamente construida en ese dominio. Al efectuarse tales divisiones, se detectó que algunos componentes de reglas (átomos o palabras clave) de una BC relativa a una división del dominio de discurso, se encontraban compartidas con reglas de otra(s) división(es) y esto dió como resultado, que la BC de una división quedara incrustada en otras BCs de otras divisiones, por lo que a la unión de todas las BCs de cada división se le llamó base de conocimiento estratificada en temas.

Los temas conducen a una mejor definición del conocimiento porque es más fácil modelar sobre las divisiones del dominio de discurso y el problema de situarse en una zona de la BC usando el texto del usuario resulta sencillo.

Trabajos actuales

En la tesis se utiliza el enfoque de SEs cooperativos con las ideas de Chandrasekaran [Chandrasekaran 1983, 1984, 1986, 1987, 1988] quien escribe sobre conocimiento genérico, él trabaja con bases de conocimiento genérico empatando técnicas a tareas, sobre taxonomía de tipos de solución de problemas, representación conceptual de conocimiento médico para diagnóstico, tareas genéricas en razonamiento basado en conocimiento, arquitecturas funcionales para inteligencia basada en información genérica procesando tareas y también sobre lo que él llama interacción con el problema.

Se pueden citar algunos de los artículos que consideran a los sistemas cooperativos como nueva tendencia en inteligencia artificial dentro de los SEs, dichos trabajos fueron

publicados tanto en las reuniones internacionales del IEEE como en revistas del área de SEs:

Mark D. Pardue [Pardue, 1993] que utiliza la norma IEEE 802.4 (token-passing) para tratar la comunicación vía un canal para el control de la información entre nodos cooperativos.

Cho, D.; Kusunoki, F; Ono, S.; Terano, T. [Cho, 1994] trabajan en el desarrollo de conocimiento compartido, solución de problemas (problem solving) y comunicación de sistemas basados en conocimiento para aplicaciones complejas en medio ambiente distribuido y cooperativo. Los autores examinan requerimientos de modelos de multi-agente para sistemas distribuidos y proponen el concepto de distribuido con explicación basada en aprendizaje.

Hadj Kacem, A.; Soubie, J. L.; Frontin, J. [Kacem, 1994] presentan resultados en los marcos teorico-práctico para el diseño de sistemas cooperativos basados en conocimiento, publicados en los últimos años.

Tacquard, Choulet, C.; Baptiste, p. [Tacquard, 1993], presentan en su artículo un modelo para organizar el conocimiento experto para la resolución de problemas, proponen un modelo de marco genérico de un Agente Especializado, en donde un Agente especializado es un conjunto de conocimiento con funciones particulares: algunas de ellas permiten planear la solución del proceso de acuerdo a la descomposición en subproblemas con algún control de las soluciones de procesos de subproblemas y otras dan el resultado final. Así un Agente especializado es una entidad que puede cooperar con otros, para una situación particular de solución de problemas, En éste modelo utilizan la arquitectura de pizarrón.

Kitamura, Y.; Zheng Bao Chauang; Tatsumi, S.; Okumoto, T.; Deen, S. M. [Kitamura, 1993], tratan con la importancia de construir un marco general para la solución de problemas distribuidos y consideran que la búsqueda distribuida es uno de tales marcos y definido como el de encontrar una trayectoria requerida en una gráfica dada por cooperación de agentes múltiples en donde cada uno de ellos puede buscarla parcialmente. Un punto interesante de su trabajo es la propuesta de un esquema de cooperación de búsqueda para problemas dinámicos donde el costo de los eslabones de la gráfica son intercambiables en el curso de la búsqueda.

Otro trabajo de interés es el de Billard, E. A.; Pasquale, J. C. [Billard, 1995] sobre la probabilidad de la formación de una coalición de conocimiento distribuido. Utilizan la idea de que un grupo de agentes tiene un potencial para mejorar una ejecución dependiendo de su habilidad para utilizar y compartir los recursos, y de ello parten para ver si los agentes deben trabajar juntos o si deben trabajar solos, presentan un modelo sobre la probabilidad de coalición de formación. Estudian el caso de la incertidumbre en la coalición de formación.

También existe una tendencia de construir lenguajes de programación para multi-agentes basado en sistemas distribuidos de estaciones de trabajo, como es el caso de Kawamura, T.; Saito, Y.; Kaneda, Y. [Kawamura, 1994] proponen un modelo computacional para agentes cooperativos, en donde el modelo considera grupos de agentes que pueden comunicarse sólo dentro del grupo y donde cada grupo tiene una acción determinada a través de una BC que contienen las reglas y datos compartidos por agentes del mismo grupo.

En el artículo de Fabiano, A. S. ; Cerri, S. A. [Fabiano, 1994], se describe un modelo conceptual de un dominio de aplicación que puede ser usado para soportar cooperación y búsqueda entre fuentes de conocimiento débilmente acopladas distribuidas sobre una red con desconocimiento topológico, el proceso de navegación esta basado en el modelo conceptual y ha sido diseñado por medio de un conjunto de agentes con habilidad y conocimiento específico.

El artículo de Schweiger, J. [Schweiger, 1994], desarrolla una BC distribuida a tiempo real que facilita el trabajo de grupo de sistemas autónomos en fabricación de medio ambiente flexible. La BC consiste de varias BCs locales que cooperan unas con otras. En cada BC local, el conocimiento se representa como un objeto estructurado con demonios.

Se pueden citar algunos de los más recientes, que de una u otra forma han desarrollado sistemas cooperativos basados principalmente en sistemas distribuidos y de multi-agente. [Agarwal, 1995, Kuroda, 1994, Jenkins, 1994, Miikkulainen, 1994, Taleb-Bendiab, 1994, De Paoli, 1994, Girgensohn, 1994, Cho, 1994, Dai, 1994, Fischer, 1993, Sugawara, 1993, Sommerville, 1993, Morita, 1993, Okada, 1993, Antunes, 1993, Gaiti, 1993, Ishida, 1993, Wong, 1993]. En general tratan el problema de cooperación y comunicación entre SEs basándose en arquitecturas de pizarrón, el concepto de sistema distribuido y de lógica de agentes, sin embargo, con relación a nuestro trabajo, los documentos o ensayos no presentan la solución al problema de selección de BCs con enunciados fuente, jerarquización de las BCs según su relevancia y comunicación a tiempo de ejecución.

Los artículos publicados a la fecha sobre SEs cooperativos difieren con el presente trabajo en tres puntos notables: primero, no utilizan un enunciado fuente como dato inicial para seleccionar las BCs con las que se configuran los SEs para la consulta del usuario; segundo, no utilizan factores de relevancia dinámicos como un parámetro de jerarquía para escoger una de las BCs seleccionadas y tercero no existe la posibilidad de comunicación a tiempo de ejecución entre BCs.

En relación a este último punto aunque no es comunicación a tiempo de ejecución, se encontró que si hay trabajos publicados en el tratamiento de problemas a tiempo real, por ejemplo: en la aplicación de proceso de imágenes de Hamada et al [Hamada, 1993], la arquitectura de Musliner et al [Musliner, 1993], el trabajo de Schweiger, J. [Schweiger, 1994] y otros.

La tesis tiene un enfoque de SEs cooperativos que utiliza un protocolo para la comunicación de temas con los que se configuraran SEs que manejan un solo dominio, es decir, que trabajan con un solo tema. Sin embargo por la arquitectura que se propone el manejo cooperativo permite que todos los SEs configurados tengan la posibilidad de comunicarse y utilicen los resultados deducidos por otros SEs en un área común.

De las contribuciones más sobresalientes en esta tesis al campo de los SEs cooperativos se pueden citar: el diseño de la arquitectura para SEs múltiples, el algoritmo para la selección de una BC usando un texto, la comunicación de SEs a tiempo de ejecución, el protocolo de comunicación, el factor de relevancia dinámico para jerarquizar las BCs seleccionadas por el usuario con un texto que utiliza como enunciado fuente. En general se puede afirmar que se trata de una arquitectura original en cuanto al manejo y selección de las BCs.

Es notable comentar que el SEC que se propone en esta tesis, se comporta como un autómata finito, es decir, una cuádruple $\langle G, M, \delta, G_j \rangle$ en donde en lugar de tener un conjunto de estados K , se tiene un conjunto de BCs G , en lugar de un alfabeto Σ , se tiene un conjunto de mensajes M , en lugar de una función de transición de estados δ , se tiene una TC (tabla de comunicación) y finalmente en lugar de tener un estado inicial q_0 , se tiene una BC inicial G_j para alguna j de las BCs seleccionadas por el enunciado fuente y la más importante de ese conjunto según su factor de relevancia.

De esta investigación surgieron términos que podrían contribuir a enriquecer el vocabulario de la inteligencia artificial, tales como: rozamiento entre BCs, grado de rozamiento entre dos o más BCs, palabras clave, extensión del conocimiento, factores de relevancia, comunicación entre BCs, "comunicación directa", "comunicación inversa" y tablas de comunicación.

Finalmente se puede decir que el interés de esta investigación, es encontrar soluciones a problemas con información de diferentes BCs como cuando varios expertos humanos cooperan para la solución de un problema.

El documento consta de seis capítulos, las conclusiones y las referencias. El capítulo uno, contiene la definición del problema propósito de esta tesis, definiciones y conceptos de temas que se requieren en el tratamiento de la arquitectura del SEC que resolverá el problema propuesto. Por ejemplo, dominio de discurso, estereotipo, micromundo y otros elementos relativos al marco de referencia. además se explica que son las palabras clave, los inventarios y los factores de relevancia.

El capítulo dos trata con la División de una BC, el procedimiento para dividir la BC, la estratificación de la BC en temas y el concepto de rozamiento entre BCs.

En el capítulo tres se da la estructura de la comunicación entre BCs, y se define el SEC.

En el capítulo cuatro se trata la arquitectura del esqueleto general para el manejo de varias BCs. Se da un esquema de la arquitectura para señalar los componentes y comportamiento de cada una de las partes que la constituyen; así como algoritmos y definiciones que justifican cada uno de los bloques del diagrama. Por ejemplo el selector de las BCs, los inventarios, el algoritmo para seleccionar una BC, el lenguaje de proposiciones, relaciones y el algoritmo de Warshall, el algoritmo para seleccionar una BC, el protocolo de comunicación basada en una Tabla de Comunicación (TC) en donde se registran las BCs o temas que pueden tener comunicación para una consulta. La configuración de los SEs, y de cómo fluye la información en todo el proceso.

En el capítulo cinco, se aborda la manera en que se da la comunicación de los SEs usando la TC. En seguida se muestra un ejemplo de dos conjuntos de reglas consideradas como fragmentos de BCs hipotéticas y se da un texto del usuario para la selección de las BCs. Del ejemplo se hace ver como la extensión del conocimiento es generado por la comunicación entre las BCs.

En el capítulo seis se comentan las dificultades que se presentan cuando se trata la incertidumbre, y se mencionan algunos temas de investigación resultado de éste trabajo.

1. DEFINICION DEL PROBLEMA

Los SEs de primera generación que manejan una sola BC trabajan bajo un número determinado de metas que concluyen bajo la confirmación de los datos del usuario basados en las preguntas del SE. Dichos SE siempre inician con un patrón de preguntas, aunque puede variar de un usuario a otro, por ejemplo, en un SE de diagnóstico médico el SE podría preguntar, el nombre del paciente o la enfermedad a diagnosticar, fecha, lugar de nacimiento, dónde reside, etc..

Si el usuario, desea hacer otra consulta al SE, deberá responder a las mismas preguntas que en un caso previo, aunque el área de su interés se encuentre en alguna parte de la BC aún no alcanzada, lo que provoca, que en este proceso, el usuario conteste negativamente, sin pensar que sus respuestas debían influir en el diagnóstico final y esto puede llevar al SE a confirmar una meta pasando por trayectorias que pudieron ser evitadas.

Es decir, no existe suficiente flexibilidad en los SEs de primera generación. No tienen posibilidad de solicitar parte de una BC o trabajar con varias de ellas. Otro problema de estos SEs de primera generación, es que las BCs son de tamaño considerablemente grande, propiciando problemas en el control de las reglas y en la consistencia de la información.

Con estos antecedentes se pensó que la arquitectura de estos SE debía cambiar, de forma tal, que el usuario preguntara y que el SE respondiera, más no al revés. O bien, que en el caso de no poder alcanzar este estado, se pudiera situar al usuario en una vecindad de la BC, y entonces desde ahí, el SE pudiera continuar haciendo las preguntas relativas a la vecindad seleccionada y así, se evitaría que el SE hiciera las mismas preguntas de entrada para cada consulta una y otra vez. Sin embargo, el modelo, de situarse en una parte de una BC, presenta detalles que en lugar de simplificar el problema lo complican; por ejemplo se debe hacer un análisis léxico y sintáctico de cada oración y obtener la vecindad de la BC relativa a la pregunta del usuario.

Suponiendo que se lograra detectar la vecindad, resulta que mucha de la información para confirmar una meta parcial se encuentra en otras partes de la BC o en otras BCs y por lo tanto no esta disponible. Estos y otros problemas llevaron a plantear el modelo o arquitectura que aquí se presenta, en una forma sencilla y menos conflictiva que en los primeros ensayos, con algunas ventajas que se citan en las conclusiones respecto de los SE tradicionales, motivo por lo cual se hizo un planteamiento con el siguiente enunciado. Es de notarse que esta arquitectura cae dentro de la línea de Sistemas Expertos Cooperativos (SEC). Actualmente la problemática de contar con grandes BCs ya no parece un problema crucial en la navegación de la BC, si se cuenta con arquitecturas que involucren varias BCs. Este tipo de arquitecturas debe contar con mecanismos de comunicación para transmitir información entre varias BCs para el tratamiento de un problema.

1,0 Definición del Problema

El problema, básicamente, se puede definir de la siguiente manera:

Una forma equivalente de este planteamiento es:

Dada la información del usuario en un texto, y un conjunto de BCs, seleccionar una BC y configurar un SE relativo a esa BC, y en caso de requerir información de otras BCs establecer la comunicación que sea necesaria entre éstas.

Simbólicamente la definición del problema resulta ser:

Dado un conjunto $G=\{G_1, G_2, \dots, G_n\}$ de BCs y T un enunciado fuente en lenguaje natural, se desea determinar $Y \subset G$, un subconjunto $Y=\{G_1, G_2, \dots, G_k\}$ con $k \leq n$, de BCs, tal que T y los elementos del subconjunto Y sean del mismo contexto, además con cada $G_j \in Y$ configurar un SE. Toda deducción de $G_j \in Y$ estará disponible en el área de trabajo común para todos los SEs. La comunicación entre las BCs se hará vía un protocolo de comunicación.

El esquema de representación de las BCs es el de reglas de inferencia, y cada elemento del conjunto G, tiene la estructura $G_j = \langle BH, BR, I_j, Fr_j \rangle$, en donde BH es el conjunto de proposiciones o hechos y BR es el conjunto de reglas de inferencia, I_j es el identificador de la BC llamado inventario, constituido por un grafo dirigido de palabras clave y Fr_j es un factor de relevancia dinámico que da la importancia de la BC, el Fr_j se obtiene de I_j cada vez que el usuario da un texto T con el que explica su problema. En la sección 1.3 se definen formalmente los términos palabra clave, inventario y factor de relevancia.

Para seguir el proceso de la solución del problema de selección de BCs por medio de un enunciado fuente, es necesario establecer una serie de conceptos y de situaciones comunes en el manejo del conocimiento en un dominio de discurso y el comportamiento de éste, ante una intrincada variedad de situaciones, por lo que iniciaremos con un detallado planteamiento del dominio de discurso o marco de referencia y posteriormente también requeriremos de algunos conceptos de la semántica del lenguaje natural vía la teoría de Frege [Frege, 1879], con el fin de definir las palabra clave. En este capítulo daré la definición y diseño del inventario usando algunos elementos de la teoría de grafos y con el mismo grafo y arcos ponderados el concepto de factor de relevancia dinámico.

1.1. Estereotipo y micromundo

Los SEs, dependen de que muchos de los campos de aplicación sean tratados como micromundos, es decir no son campos reales o fragmentos de la realidad en toda la extensión de la palabra. Por lo tanto es necesario definir dos conceptos importantes: el de estereotipo y el de micromundo. "El micromundo es un campo inventado, artificial, en el cual los objetos, propiedades y eventos posibles están claramente definidos de antemano" [Minsky y Papper, 1972; Brobow y Collins, 1975; Winston, 1975; Boden, 1977 y Waltz, 1982]. Esto se debe a que la simulación del mundo real, al menos por el momento, se tendrá que considerar como un micromundo para algunos propósitos de toma de decisiones. Para llevar esto a la práctica se necesitan varias cosas, entre las más importantes son:

Las decisiones pertinentes dependen únicamente de un conjunto bien definido y no demasiado grande de variables y factores .

Los valores de esas variables deben ser conocidos o factibles de poderse descubrir. Por lo que debe haber una mejor manera para especificarlos o expresarlos de un modo articulado.

- El modo exacto según el cual los resultados o decisiones dependen de los valores de las variables debe ser conocido o computable, por lo menos con una aproximación aceptable.

Las interrelaciones entre los factores para determinar el resultado deberían ser lo suficientemente complejas como para que el proyecto sobre SEs se justifique.

Estas condiciones son rigurosas y regulan la mayor parte de la vida cotidiana, pero también existen campos técnicos especializados que satisfacen los requisitos, incluyendo el diagnóstico y la terapia.

Los SEs, sin duda son muy importantes en términos prácticos, no deben confundirse como una rama de la ciencia cognoscitiva basada en la inteligencia y el pensamiento. *Los SEs están diseñados únicamente para llevar a cabo un trabajo limitado cuidadosamente*; por lo tanto, los defectos teóricos de los micromundos no deben preocuparnos. Y sin embargo, por la misma razón los SE contribuyen en muy poco o nada a nuestra comprensión del sentido común o de la inteligencia natural. Un ejemplo muy claro de la complejidad que sólo un humano puede entender o elucidar el sentido de la frase del estereotipo está en el siguiente enunciado: "La caja estaba en la barra", otro sería, "No sabe lo que se pierde el que no va al hipódromo" son sólo ejemplos de lo extraordinario de la mente humana.

A diferencia de los micromundos, los estereotipos no tratan de evadir las intrincadas marañas de la vida cotidiana; por el contrario, su objetivo es duplicar la organización y la operación del sentido común en toda su poética irregularidad. Como lo muestra hasta una breve descripción, es una idea profunda, con una notable base intuitiva y un formidable poder teórico [Minsky, 1974; Chiarniak, 1974; Haugeland, 1985]. En términos formales, los estereotipos pueden describirse de la siguiente manera:

"Los estereotipos son descripciones generales, en algún formato convencional, de objetos, eventos y situaciones conocidos. Son como "definiciones" elaboradas, con la única diferencia de que son mucho más enciclopédicos que los asientos de un diccionario común, y deben ser enormemente minuciosas y hasta triviales" [Husserl 1913, Bartlett 1932].

1.2. Dominio de discurso o marco de referencia

El dominio de discurso o marco de referencia se puede ejemplificar y entender mejor sin tener que dar una definición formal, en John Haugeland [Haugeland, 1985], quien describe en forma muy simple la manera en que se pueden observar los elementos básicos y las consideraciones que se deben hacer en un marco de referencia.

Las consideraciones que se plantean en el siguiente ejemplo se hacen con el fin de identificar la problemática en un marco de referencia y ver cómo un robot o SE tendrá que programarse para resolver una situación dada dentro de éste.

Supongamos que, en una habitación, hay una familia que se encuentra ocupando una posición. Esto es, si el Papá está sentado al centro de la habitación en una silla y tiene al Bebé en sus piernas y la Mamá se encuentra en un sillón, cuando llega el hermano del Bebé y mueve al Papá hacia el otro cuarto, se pueden formular las siguientes preguntas: ¿en dónde está ahora el Papá?, ¿en dónde está ahora la Mamá?, y ¿en dónde está ahora el Bebé?. Para un robot sería difícil decidir cuántas personas hay en el cuarto, pero es posible que el hermano lo sepa, porque él mismo movió al Papá, y no tocó a la Mamá ni al Bebé. Sin embargo, mover al Papá tiene un efecto colateral: el Bebé se ha movido (pero no la Mamá).

Es difícil anticipar los efectos colaterales, porque ocurren sólo incidentalmente dependiendo de los detalles de cada situación particular; por ejemplo, sucede que el Bebé (pero no la Mamá) está encima del Papá. Por otro lado, comprobar explícitamente todas las consecuencias posibles es inaceptable. Por eso, el problema real descrito por McCarthy y Pat Hayes [McCarthy, 1969] y posteriormente por John Heugeland [Haugeland, 1982]. - el así llamado marco de referencia o dominio de discurso - es cómo "notar" los efectos colaterales sin tener que eliminar todas las demás posibilidades que al cumplirse hubieran producido unos hechos diferentes.

El problema del dominio de discurso es aparentemente análogo al problema del acceso al conocimiento. En ambos casos la pregunta básica es: ¿cómo ignorar (selectivamente) todo lo que el SE conoce o se puede "imaginar"?; es decir, ¿cómo deben o pueden señalar los factores pertinentes, sin gastar demasiado esfuerzo en descartar alternativas?. En otras palabras, la dificultad no está en cómo decir, en cada consideración potencial, si eso importa o no, sino en cómo evitar esa decisión en cada momento.

1.2.1. Situación actual del dominio de discurso

No todos los problemas son iguales. El problema del acceso al conocimiento atañe principalmente a la información "genérica": porque el conocimiento común puede estar relacionado en cualquier momento, en cualquier lado; mientras que el marco de referencia o dominio de discurso surge con el conocimiento de la situación corriente, y aquí y ahora - en especial para actualizar el conocimiento-, a medida que los sucesos ocurran y la situación vaya evolucionando. La diferencia principal es, por lo tanto, de carácter temporal y espacial. Los hechos usados en relación con los tamaños y pre-requisitos son todos constantes.

Pero cuando las cosas empiezan a moverse y a cambiar, el "conocimiento" de la situación corriente puede no seguir siendo válido: el Bebé, por ejemplo, ya no estará en el centro de la habitación. Parece, entonces, como si el conocimiento del sistema estuviera dividido en, por lo menos, dos categorías: hechos perennes, que no cambian, y hechos temporales, que en cualquier momento pueden cambiar y por lo tanto deben ser actualizados constantemente.

El flujo constante del aquí y del ahora hace que el problema del marco de referencia sea más difícil que el (llano) del acceso al conocimiento, por dos razones relacionadas entre sí. Primero, porque cuando se actualiza el conocimiento temporal, el SE debe encontrar el camino hasta la BC (de una manera selectiva y eficiente), no en función de lo que está almacenado y dónde, sino en función de cómo son interdependientes todas las entradas, es decir, de cómo podrían ser afectadas cada una por los cambios de las otras.

En otras palabras, eso implica que existe otro nivel completo de combinaciones que hay que mantener bajo control. Pero, en segundo término, las interconexiones y dependencias pertinentes, son ellas mismas, situaciones límite; es decir, los efectos colaterales concretos de cualquier suceso particular son bastante sensibles a los detalles fortuitos de las circunstancias corrientes. Por eso el Bebé se mueve ahora, pero la próxima vez puede ser distinto. De ahí que las decisiones actualizadas no puedan surtir efecto de antemano; cada nueva situación debe ser manejada "al vuelo", como viene.

Estos son los factores básicos que hacen difícil el problema del marco de referencia; pero hay que tener presente que existen muchas combinaciones en las situaciones reales por

cambios continuos y/o irregulares, por ejemplo: el gato y el ratón dejaron de correr cerca de la casa de las muñecas. Se pueden dar casos como actos simultáneos con efectos colaterales que interactúan: el niño tiró la leche en el momento en que su hermano chocó con la lámpara; o efectos acumulativos como en el siguiente: la gota que derrama el vaso, etc.

1.2.2. Prueba fácil y mejor es no moverlo

John Heugeland [Heugeland, 1985] divide al problema del marco de referencia en dos campos principales, llamados de la "prueba fácil" y de "mejor es no moverlo". La diferencia entre los dos gira en torno a cuán seriamente ignoran las alternativas. La estrategia de la "prueba fácil" es echar una mirada a la situación global (según esté representada), para decir, con un sólo vistazo, lo más que pueda acerca de lo que no está relacionado con un evento y que no le afectaría.

El concepto intuitivo básico es fácil de captar: cuando el hermano del Bebé empuja al Papá, se da cuenta de que esto puede alterar los lugares de muchas cosas (incluso del Papá). Pero sabe también que esto no cambiaría su color, tamaño, forma, o peso, porque (en condiciones normales) el lugar, color, forma, peso y demás, son propiedades independientes. Todo lo que necesita es una clasificación previa de los sucesos y de los hechos, sobre la base de qué tipo de sucesos afectan qué tipo de hechos. Entonces, cada entrada de los hechos, según el modelo que representen, podría dar una señal (prender una bandera) que indique el(los) tipo(s) de evento(s) que lo podría(n) afectar. Por ejemplo, todos los datos que probablemente serían afectados por movimientos podrían ser señalados (prende banderas) siempre que el suceso dado sea un movimiento. El hermano del Bebé podría evitar (ignorar) todos aquellos hechos que no hacen señales (no prender banderas) porque ya sabe que no necesitan ser actualizados.

De la misma manera, el hermano del Bebé (o su diseñador) podría suponer de una manera razonable que un suceso sólo puede influir en las cosas que están en sus inmediaciones, ninguna acción a distancia, en otras palabras. Por eso, mover al Papá podría afectar al Bebé fácilmente, ya que el Bebé está en las piernas del Papá; pero no perturbaría a la Mamá o a su sillón porque están del otro lado de la habitación. En este caso, entonces, las señales (banderas) no indicarían cuáles son las propiedades que podrían interactuar, sino qué objetos podrían interactuar, de acuerdo con algunas medidas de proximidad casual. En ambos casos, sin embargo, el SE debe escrutar toda situación (igual conocimiento temporal), contando con alguna señal fácil, que le permita descartar rápidamente los asientos.

El problema con estas pruebas fáciles es que el mundo real no está dividido tan convenientemente en compartimientos (de ahí la idea de BCs estratificadas en temas, resultado de la división de la BC). La Mamá estaría afectada también si el hermano del Bebé empuja al Papá contra la pared y los cambios que se originan bien pueden incluir...

La alternativa, la estrategia de "mejor es no moverlo", es no mover las cosas, a menos que exista alguna razón válida para hacerlo. Es decir, a falta de una indicación positiva que diga que un hecho particular pueda ser satisfeco, el SE lo ignorará por completo (sin siquiera llevar a cabo ninguna prueba fácil). A primera vista esta indicación podría parecer siempre satisfactoria, pero presenta problemas tremendos de diseño sobre cómo obtener las indicaciones positivas necesarias para todos los efectos colaterales importantes. Por ejemplo, ¿que se puede hacer para que el SE se preocupe más por la posición futura del Bebé (aunque no por la de la Mamá o por el número de personas restantes) cuando empieza a moverse el Papá?.

1.2.3. Los hechos básicos

Dos enfoques muy comunes y útiles son dividir todos los hechos temporales posteriores en hechos básicos y no básicos, de manera que:

1. los hechos básicos sean todos independientes de los demás, y
2. los hechos no básicos sean todos deducibles de los hechos básicos.

La idea de fondo es que, puesto que los hechos básicos son independientes, un cambio en uno no afecta a los demás. Entonces no existen efectos colaterales entre los hechos básicos, y por lo tanto ningún problema "básico" del marco de referencia. En otras palabras, los efectos colaterales y problemas del marco de referencia están limitados a los hechos no básicos (deducidos).

En un tablero de ajedrez, por ejemplo, los lugares de cada pieza (y sus movimientos) son los únicos hechos básicos. Por lo tanto, los hechos básicos no son independientes en el sentido de que todas las combinaciones estén permitidas, sino sólo en el sentido de que cuando se haga un cambio permitido no se altere ningún otro hecho básico por ello. Por ejemplo ni poner dos piezas de ajedrez en un jaque, ni mover el rey a jaque, y cuando una pieza se mueve todas las demás se quedan quietas. Todo lo demás acerca del tablero -como quién está ganando, qué piezas se están comiendo, qué movimientos serían buenos, etc.-, se deduce de los hechos básicos. Por eso, cuando se mueve una pieza no existe el problema de actualizar las posiciones de las demás (no se ven afectadas); las únicas que necesitan actualización son las deducciones no básicas relacionadas con las amenazas, las oportunidades y cosas por el estilo.

1.2.4. Los hechos deducidos

Una vez establecido cuáles serán los hechos básicos se pueden determinar hechos que resultan de inferir de los básicos bajo situaciones lógicas, estos hechos son llamados deducidos.

Los hechos deducidos, a su vez, se pueden dividir en dos subgrupos:

1. las conclusiones que el sistema (en un determinado momento) ha formulado ya, es decir, las consecuencias que ha deducido explícitamente; y
2. las conclusiones que el sistema todavía no ha formulado (aunque pudiera hacerlo), es decir, las consecuencias que hasta el momento quedan sólo implícitas.

Cualquier conjunto de hechos básicos tendrá incalculables, consecuencias lógicas tediosas, y ningún SE deduciría todas (ni siquiera muchas). Por eso, la mayoría de los hechos no básicos queda implícita, lo que no representa un problema: tan pronto estén actualizados los hechos básicos, se van a tener actualizadas también todas las consecuencias implícitas, con la ayuda de la lógica. Sin embargo, sólo, algunos hechos no básicos se deberían poder deducir explícitamente, puesto que así el SE los puede tomar en cuenta en sus decisiones y acciones. Pero todas esas conclusiones explícitas están en peligro de que "se les mueva el tapete" cada vez que se actualice un hecho básico, y es aquí donde vuelve a aparecer el problema del marco de referencia.

Una respuesta directa sería descartar todas las conclusiones previas cada vez que se actualice algo; pero eso sería claramente excesivo. Un enfoque más fino asociaría a cada hecho básico todas las deducciones explícitas que dependan de él; entonces el SE podría decir lo que cree que está en peligro en cada actualización e ignorar sin riesgo todo lo demás.

Pero este enfoque se enfrenta a dificultades parecidas, precisamente en seleccionar qué hechos son "básicos". Por ejemplo, si los lugares de la Mamá; y del Papá fueran básicos, entonces mover al Papá no afectaría a la Mamá; y la distancia y dirección variables entre ellos tendrían que ser también deducidas con precisión (exactamente como en un tablero de ajedrez). Pero, por el mismo razonamiento, el lugar del Bebé debería de ser básico también, en cuyo caso tampoco se vería afectado por el movimiento del Papá; de manera que cuando el Papá se va, el Bebé se queda atrás, incómodamente suspendido en el aire. ¿Por qué no hacer que cada posición de un objeto sea básico en relación a lo que soporta?. Entonces el Bebé, en relación con el Papá, se mantendría sin cambios cuando el Papá se mueva, lo cual parece acertado. Pero, ¿que pasaría si el Bebé estuviera atado con una cuerda a la manija de la puerta?, ¿Y qué pasaría, si en lugar de arrastrarse de costado, el Papá se hubiera volcado?. Entonces la posición del Bebé con respecto a la del Papá no parece ser tan básica después de todo. Otras sugerencias tienen problemas análogos. Es más,

el pequeño cuarto de las cuatro personas no es muy diferente a un micromundo; pero describir los hechos básicos en un centro comercial, digamos, sería hablar de otra cosa.

La otra variante principal de la estrategia de "mejor es no moverlo", requiere de tomar en cuenta los efectos colaterales más comunes -todos los "y qué tal si" interdependientes- en estereotipos elaborados especialmente para las situaciones y sus cambios. Por eso el estereotipo "mueve algo" tendría una cláusula diciendo que cualquier cosa que esté sobre eso se movería también, a menos que amarrada a la manija de la puerta suponiendo que el apoyo no se vuelque, mientras no haya mayores contratiempos, y así sucesivamente. Desde luego que estas barreras tendrán que estar restringidas a su vez, en caso de que el Bebé esté también pegado al Papá, que la manija esté pegada al Papá, o lo que sea. Estas definiciones de los estereotipos podrían volverse muy complicadas, llegando a suscitar la preocupación de que el problema del marco de referencia no esté, tanto resuelto como reubicado, en el problema de encontrar nuestro camino alrededor de los estereotipos.

La BC asociada al dominio de discurso en relación a lo que se ha discutido tiene que apegarse a las ideas de un micromundo por la sencilla razón de que no se pueden establecer situaciones de relaciones o interrelaciones de eventos y conceptos que resultarían irrelevantes y posiblemente innecesarios y por ello se perdería el poder de organización del conocimiento que se cree que vale la pena. De esto también se puede inferir que la causa principal de recortar en gran medida las posibilidades descriptivas de un marco de referencia hacen que se anule la posibilidad de tratar el sentido común en un SE.

Una vez que entendemos o podemos describir un micromundo, nos preguntamos ¿cómo, por medio de un conjunto oraciones (un texto) en lenguaje natural podemos determinar alguna parte de éste?. Una posible solución sería que hubiera señales que pudiéramos poner en el micromundo y referirlas en el texto.

En la siguiente sección se definen dichas señales como palabras clave, ya que como se explica los objetos tienen asociado un nombre que los identifica y ya que utilizamos oraciones para describir los eventos o procesos que ocurren en el micromundo, es posible identificar áreas bien definidas por medio de estas palabras.

1.3 Palabras clave, Inventarios y Factores de Relevancia

En esta sección se definirán primeramente las **palabras clave**, utilizando la semántica fregeana, con la que nos ayudaremos para establecer lo que entendemos por una **palabra clave** en el contexto de BCs, las palabras clave nos servirán para identificar BCs a través de un texto en lenguaje natural, es decir se quiere encontrar una vinculación semántica entre un texto en lenguaje natural y un conjunto de oraciones. Intuitivamente podemos suponer que un conjunto de oraciones de lenguaje natural tiene asociado otro conjunto

T3.- La ontología fregeana se desprende a partir de la semántica.

"Para hablar con mayor precisión Frege no dió directamente ningún análisis sintáctico del lenguaje natural pero, en cambio, inventó un lenguaje formalizado, cuyas oraciones tienen una estructura sintáctica precisa".

Aunque es difícil establecer con claridad qué tan estrechamente relacionado se encuentre dicho lenguaje formalizado con el lenguaje natural y, por ende, en qué sentido se aplica la semántica fregeana al lenguaje natural, se puede sostener una tesis moderada que responda a las interrogantes antes mencionadas. Primero, existe una relación entre lenguaje natural y el formalizado puesto que, en la formulación de las categorías lingüísticas de la teoría, se pretende capturar la semántica del lenguaje natural. Esta tarea de construcción del lenguaje

ideado por Frege se lleva a cabo bajo el supuesto de un mutuo entendimiento de los rasgos esenciales del lenguaje natural, entre el teórico y el hablante competente de dicho lenguaje.

Frege, comenta en [Valdivia, 1989] "sin lenguaje no podemos entendernos y, por lo tanto, en último término, siempre dependemos de la suposición de que el otro entiende las palabras, las formas y la estructura enunciativa, en lo esencial, igual que nosotros".

Segundo, si dicha relación se establece y nuestra comprensión del lenguaje se refleja en la semántica del lenguaje formalizado, la aplicación semántica así construida queda establecida de una manera plausible. Por lo que concierne a la amplitud de la aplicación de las tesis semánticas fregeanas al lenguaje natural, como veremos más adelante, se tendrá en un sentido restringido que se irá precisando a lo largo de esta sección.

Aunque se han señalado problemas importantes de la teoría fregeana por lo que concierne a la adecuación de su semántica a la del lenguaje natural, especialmente en el caso de las palabras que "refieren" a conceptos, se sostiene la tesis "La semántica es unificada en virtud de que se aplica tanto al lenguaje natural como matemático" en su sentido modesto: se aplica a partes del lenguaje natural. Es importante notar que hay una tensión en la teoría misma con respecto incluso a esta tesis débil.

Sin embargo, la tensión no elimina por completo la consideración teórica de proporcionar una aplicación filosóficamente interesante de la semántica de algunas porciones del lenguaje natural. Dicha semántica se desprende de un trabajo mucho más ambicioso que surgió de su interés por fundamentar la matemática en la lógica, lo que lo llevó a dar cuenta de los conceptos matemáticos básicos.

Desde el punto de vista de Frege la ontología se conforma en dos grandes categorías: **objetos y funciones**. Los objetos los entiende en un sentido muy amplio, como por ejemplo, valores veritativos, rangos de funciones, lugares, momentos, instantes, pensamientos (en un sentido no psicológico), objetos del mundo físico y del sentido común, etcétera. Las funciones pueden ser: (a) funciones cuyos valores son siempre veritativos, sean de uno (conceptos) o dos argumentos (relaciones) y (b) funciones cuyos valores no son valores veritativos y que como en el caso (a) pueden ser de uno, dos, o más lugares de argumento. Es interesante, vislumbrar la riqueza y extrañeza de esta ontología la cual se desprende indudablemente de consideraciones semántico-lingüísticas.

La relación que hay entre el lenguaje y aquello que comúnmente llamamos "ontología", es fuente de perplejidades filosóficas, especialmente si partimos de la intuición ingenua -casi natural- de que el lenguaje es un fiel reflejo de la ontología. Frege no escapó al atractivo de esta intuición e hizo de la tarea del nombrar la piedra angular de su filosofía. Sus escritos reflejan una tendencia general, totalmente ingenua, a considerar que en efecto, a nuestras palabras corresponden generalmente entidades (aunque Frege no emplea el término 'entidad' y no hay uno adecuado para referirse a todo lo que puebla la ontología

fregeana) y más aún, que las cosas extra-lingüísticas y nuestras palabras cuando se corresponden, lo hacen de una manera perfecta en virtud de que ciertas características de los signos se reflejan en las cosas a las que nombran. Esto es, a la completez o insaturación de aquello que esa expresión denota. Y lo anterior sucede de la siguiente manera.

Así, la noción que Frege emplea de nombrar aunque ha partido inicialmente de la idea general e intuitiva de que las palabras representan cosas distintas de ellas mismas, se va transformando paulatinamente en una noción técnica, en virtud de que ya no sólo serán nombres aquellas expresiones que se clasifican gramaticalmente de esta manera, sino también todas aquellas que sean consideradas en la teoría y cuya gramática no es más que nuestra gramática habitual. Por ejemplo, frases descriptivas son consideradas como nombres propios, igual sucede con las oraciones declarativas y los numerales.

También son nombres las expresiones funcionales de la matemática, los predicados que aluden a conceptos, etcétera. Pero si bien es cierto que estos últimos casos de expresiones no son nombres propios no por ello dejan de ser considerados como nombres.

Esta manera de ver las cosas depende pues del supuesto de que hay una correspondencia entre el lenguaje y lo que éste nombra. Frege da una tendencia general a considerar que este es el caso. Pero es obvio que una tendencia general es una evidencia pobre para sostener que en la semántica de Frege siempre y necesariamente, se establece una correspondencia entre lenguaje y ontología. Aquí hay varias afirmaciones que debemos distinguir. Primero, que siempre se establezca la correspondencia entre el lenguaje y la ontología propuesta; segundo, que cuando se establece encontramos que a la "naturaleza" de las expresiones corresponde cierta "naturaleza" en los denotados; y, finalmente podría intentarse una lectura que aunará estos dos aspectos, esto es, que la correspondencia siempre se establece y precisamente de esta y no de cualquier otra manera.

Es indudable que en el lenguaje perfecto ideado por Frege -fuertemente presionado por restricciones lógicas-, no es admisible la introducción de signos sin denotado puesto que tal admisión conllevaría fracasos en la deducción lógica. De hecho, Frege es consciente de este problema e impone como condición de adecuación a su lenguaje perfecto, que todo nombre posea un referente. Sin embargo, por otra parte, admite que el lenguaje natural puede contener nombres vacíos e igualmente oraciones en las que estos figuren. En esta caso, la

supuesta "correspondencia" entre el nombre y lo que denota o refiere, está ausente. Así pues, uno bien podría preguntarse acerca de la validez de la tesis según la cual el lenguaje es un fiel reflejo de "la ontología".

Aquí hay que tomar una decisión. O bien suponemos que Frege ha ideado una semántica exclusivamente para su lenguaje conceptual, en la cual se establece tal correspondencia y dejamos en una completa interrogación el ámbito que concierne al lenguaje natural; o bien, suponemos que tal "correspondencia" se establece sólo como un caso general y evitamos la distinción tajante entre un lenguaje perfecto y otro de menor categoría.

En otras palabras, evitamos la indeseable suposición de que el lenguaje común y corriente con el que convivimos todos nuestros días no compete al análisis filosófico de Frege y suponemos, simplemente, que cuando se establece la correspondencia entre nuestro lenguaje y las cosas a las que nombramos, encontraremos que a ciertos rasgos característicos de nuestras expresiones -la completitud o incompletitud- "corresponden" igualmente ciertos rasgos en la "naturaleza" de los denotados.

La segunda alternativa resulta filosóficamente más atractiva, puesto que evitar la escisión de lenguajes arrojaría consecuencias importantes. Por ejemplo, podríamos poner a prueba las tesis semánticas, preguntándonos si dan cuenta de los juicios que expresamos mediante nuestras palabras, de la manera como los comunicamos, de aquello que captamos o significamos con nuestras expresiones, etcétera.

Sin embargo es obvio que éste es el camino más difícil de incursionar y que se requiere de mucha argumentación para mostrar que las tesis semánticas fregeanas recogen no sólo consideraciones para el lenguaje lógico conceptual sino para la totalidad del lenguaje [Higginbotham 1989].

Veamos cómo surgen las categorías de la semántica fregeana para introducirnos en su problemática e intentar posteriormente responder si hay o no alguna dificultad en sostener que tales categorías establecen cierta correlación entre palabras y "cosas" y, especialmente, si esta correlación es problemática en algún ámbito particular del lenguaje. En otras palabras, si el supuesto de que hay tal correlación o correspondencia sólo crea problemas en el ámbito del lenguaje natural.

El incursionar en este formalismo del lenguaje nos permitirá elucidar con mayor facilidad la vinculación semántica entre un enunciado o texto y un conjunto de oraciones (que en el caso particular de los SE tales conjuntos de oraciones serán BCs), por medio de palabras. En general se puede decir que existe la posibilidad de vincular semánticamente conjuntos de oraciones.

1.3.1.1 Categorías semánticas y ontológicas

Frege postula dos categorías semánticas: **nombre propio y nombre de función** que se encuentran correlacionadas a su vez con dos categorías ontológicas: **objeto y función respectivamente**. Las categorías semánticas son mutuamente excluyentes y conjuntamente exhaustivas e igualmente lo son las categorías ontológicas entre sí. En otras palabras, **toda expresión es o bien un nombre propio o bien un nombre de función pero no ambos; y toda "entidad" o referente es o bien un objeto o bien una función pero no ambos**. La correlación se establece mediante el supuesto implícito de que la función básica del lenguaje es la de nombrar. Tomemos la siguiente formulación explícita de este supuesto fregeano:

(A) A toda expresión semántica incompleta, cuando refiere, le corresponde un denotado incompleto; a toda expresión semánticamente completa, cuando refiere, le corresponde un denotado completo.

Se incluye en la formulación del supuesto, la frase '**cuando refiere**', de manera que tenga la generalidad requerida pues como se ha mencionado, este supuesto se cumple siempre y solamente en el caso del lenguaje perfecto ideado por Frege. Es importante señalar que hay una primacía del plano semántico respecto del ontológico, en el siguiente sentido.

La ontología se conforma o se desprende a partir de consideraciones semánticas. Más aun, Frege ha sugerido que las características mediante las cuales incluimos a las expresiones y/o referentes de las mismas en sus respectivas categorías, a saber, las características de saturación o de no saturación, surgen en el nivel semántico. Pero al mismo tiempo pese a que la ontología se "desprende" de este tipo de consideraciones, ella conforma un reino aparte, distinto del reino del lenguaje. En ocasiones, la diferencia entre ambos reinos es tal que Frege supone que algunas de las "entidades" que pueblan la ontología, como son el sentido, los juicios o pensamientos existen independientemente del lenguaje. Y si confrontamos estas dos afirmaciones encontraremos una tensión entre por una parte, sostener que la ontología se la desprende de consideraciones semántico-lingüísticas y, por la otra, que una vez "desprendida" tiene una vida tan independiente que existe aún cuando el lenguaje no hubiera nunca existido.

La idea fregeana original, a saber, nuestras consideraciones lingüísticas y semánticas son las que dan pie a la ontología y la primacía de la semántica respecto que ella tiene puede de alguna manera traducirse en una relación entre ambos reinos.

Los términos **nombre propio, objeto, nombre de función y función** son terminologías sui géneris acuñadas por Frege para propósitos específicos. Por lo que concierne a los dos primeros, parece que Frege pretende que capturen el significado que ordinariamente se les confiere, agregándoles algo más, a saber: que lo que hace que una expresión sea un nombre propio no es el lugar que ocupe una oración sino primordialmente la característica de nombrar, referir, apuntar a un individuo.

Así, no sólo los nombres gramaticales lo consiguen, sino también las frases descriptivas e incluso las oraciones. Se amplía no sólo las expresiones admitidas como nombres propios sino también los denotados de ellas. Por ejemplo, puesto que una oración es un nombre propio y su denotado un valor veritativo, si la oración es verdadera o falsa, entonces entre los objetos que nombramos no sólo están Pedro, Juan, el hombre más alto, sino también **Lo Verdadero y Lo Falso**. Igual suerte corre la terminología de nombre de función (o expresión funcional) y función, puesto que ya no se confinan a esta categoría expresiones como " $x+2$ " sino que incluye en ese rubro a expresiones como "verde". Igualmente, las funciones mismas no son lo que comúnmente se conoce como extensión de una función matemática, sino un tipo diferente de entidad al cual corresponden también los conceptos.

1.3.1.2 La completitud o incompletitud en expresiones

Frege introduce la dicotomía completo/incompleto en 1891, en su artículo "Función y Concepto" [Frege, 1891]. La noción de incompleto Frege la especifica empleando metáforas, tal como: cualquier expresión incompleta necesita -en virtud de su naturaleza- ser suplementada o completada pero al mismo tiempo en ello reside su naturaleza misma.

Ahora bien ¿de donde proviene esta característica de incompletitud?, ¿cómo se la reconoce? son preguntas parcialmente respondidas.

Frege sostiene que "En rigor, la saturación ocurre en la región del sentido y de ahí es transferida al signo". Podría pensarse por tanto, que se ejemplifica en aquellas expresiones cuyo contenido está parcialmente determinado, como es el caso de las palabras acerca de conceptos o palabras predicativas. Aunque esta afirmación es muy posterior a la introducción de la dicotomía, resultará útil para comprender la respuesta que Frege proporcionó en su primer momento a la pregunta acerca de cómo reconocer la incompletitud o no saturación de las expresiones.

Podrían detectarse al menos tres criterios para reconocer la incompletitud de las expresiones como sigue:

- (i) Una palabra o frase es incompleta, si y sólo si, es un nombre de función.
- (ii) Un pedazo de lenguaje es incompleto, si y sólo si, contiene al menos un hueco.
- (iii) Un pedazo de lenguaje es un nombre de función de primer nivel si y sólo si, puede ser el predicado de una oración.

Todos estos criterios se encuentran relacionados. Con respecto al punto (ii), Frege empleó un ejemplo para ilustrar la insaturación. Y se publica , en "Función y concepto" [Frege, 1891]. Consideró las siguientes expresiones funcionales:

$$\begin{array}{ll} 2*(1^3) + 1 & \text{(a)} \\ 2*(2^3) + 2 & \text{(b)} \\ 2*(4^3) + 3 & \text{(c)} \end{array}$$

Si reflexionamos acerca de ellas podemos decir que la presencia de aquello que nos permite reconocer una y otra vez la misma función tanto en (a), como en (b) y en (c), se puede expresar como:

$$2*x^3 + x$$

Ahora bien, la x tampoco pertenece a la función o forma parte de ella es, simplemente, un signo que nos sirve para señalar un lugar vacío puesto que la x a diferencia de los numerales no "refiere" a ningún objeto en particular, definido, preciso. Señalemos pues el hueco mediante corchetes y comparemos la siguiente expresión (d') con cualquiera de las anteriores (a), (b) o (c):

$$2*[]^3 + []$$

Este es un indicio de ;insaturación!. Hecha la comparación -de acuerdo con Frege-, podremos detectar la incompletitud de las expresiones funcionales.

De acuerdo con el enunciado (A), la incompletitud o completitud de las expresiones se "proyecta" en las entidades que nombran. Luego entonces cualquiera que sea el denotado de (d') lo único que es "claro" es que se trata de una entidad incompleta.

Nombre propio, objeto, nombre de función, son términos interdependientes. La caracterización del primero lleva la del segundo; estas dos, a su vez, caracterizan nombre de función y, finalmente, esta última caracteriza a función. Iniciemos con la caracterización de la categoría de nombre propio asumiendo (B):

(B) Un término α nombra un objeto x sólo si α es un nombre propio.

La caracterización (B) no sólo permite "definir" la categoría de nombre propio sino también la de objeto precisamente a través de un criterio lingüístico. Ahora bien, caracterizado gracias al lenguaje aquello que es un objeto, sabemos por el enunciado (B) y el enunciado (A) toda expresión que denote un objeto debe ser un expresión completa, sin huecos. Esto nos lleva a inferir que hay expresiones no completas y, nuevamente, empleando el enunciado (A) podemos inferir que tales expresiones incompletas, si denotan, denotarán algo incompleto. Así, el criterio lingüístico que permite dar un paso hacia la categoría de objeto, permite también acceder a la categoría de lo que no es objeto, esto es, de lo incompleto.

Una vez que inferimos que hay expresiones incompletas, con denotados de la misma naturaleza, lo que hace Frege es darles una etiqueta a estas categorías. Dado que nos ha mostrado que las expresiones funcionales son incompletas, a estas corresponde la categoría lingüística de nombre de función y la categoría ontológica de función. Nuevamente, si lo deseamos, a partir de este punto, esto es, luego de haber caracterizado la noción de función, empleando los enunciados (A) y (B), podemos definir la categoría semántica de nombre propio. Cerramos así la terminología fregeana en un círculo, aunque no del todo perfecto dadas las aclaraciones antes mencionadas.

Este bosquejo nos permite: tener una visión más clara del papel que cada categoría juega en la semántica fregeana; advertir que la relación entre las categorías es mucho más nítida que la caracterización independiente de cada una de ellas; y mostrar las razones por las que sostenemos la tesis (T3), en otras palabras, ver cómo se desprende la ontología de consideraciones lingüísticas y semánticas.

1.3.1.3 Caracterización de nombre propio

Frege asumió el enunciado (B) como característica indicativa de la categoría de nombre propio. Tal y como se ha formulado, ésta no implica que todo nombre propio denote un objeto. Lo que (B) proporciona solamente una condición suficiente. De ahí que con base en el enunciado (B) no obtengamos en sentido estricto una definición. Y la ausencia de definición suscita problemas cuando manejamos nombres propios en el cálculo lógico, puesto que la denotación puede estar ausente. Tratemos pues el enunciado (B) de la siguiente manera:

(C) Un término α nombra un objeto x si y sólo si α es un nombre propio.

Debido a que (C) contradice la tesis fregeana de que hay nombres propios vacíos. Alon Church con el fin de evitar la contradicción establece:

(D) "Cuando un nombre constituyente de un nombre compuesto no tiene denotación, el nombre compuesto tampoco la tiene.

Sin embargo (C) niega o contradice (D) y no parece ser una alternativa viable para evitar los problemas que ocasiona (B). Reconstruyamos la problemática. Si optamos por (B) sólo tenemos condiciones suficientes para caracterizar la categoría de nombre propio, motivo por el cual (B) permitiría errores en la deducción lógica; pero si buscáramos una definición en términos de condiciones necesarias y suficientes -empleando (C)- entraremos en conflicto con el principio (D), a saber, encontraremos una contradicción.

He aquí el dilema: o bien optamos por (B) y quedamos abiertos al error lógico; o bien optamos por (C) y descansamos en una contradicción. El dilema no es sencillo. Por una

parte, no se trata simplemente de evitar nuestras pretensiones definicionistas y optar por (B), sino de evitar la indeseable consecuencia de incurrir en errores en la derivación lógica. Y, por la otra, tampoco se trata de retener las virtudes de una definición, sino de evitar una contradicción en el corpus teórico.

Es difícil encontrar la base sobre la cual Frege distinguió con claridad entre nombre propio y cualquier otro tipo de expresiones; se contentó, como nos dice Dummett [Dummett, 1973], con permitir:

"que toda la distinción entre nombre propio y expresiones de otro tipo, dependiese del reconocimiento intuitivo, guiado simplemente por las pruebas más ingenuas".

1.3.1.4 Caracterización de objeto

No sólo la categoría de nombre propio presenta dificultades para caracterizarla. Es obvio que dada la relación que guarda ésta categoría con la de objeto, también encontramos problemas con esa última. Lo interesante en el caso de la categoría de objeto es que además de que también carecemos de una definición en términos de condiciones necesarias y suficientes, hay algunas dudas cuando intentamos conciliar la existencia de los objetos, con los criterios proporcionados por Frege. Por ejemplo, surge la pregunta acerca de si estamos justificados en aceptar que algo es un objeto aun cuando ese algo no posea un nombre propio. Dummett advierte esta dificultad y al parecer se hace cargo de ella, cuando sostiene que:

"Ahora bien, el uso del término ontológico de Frege 'objeto' es estrictamente correlativo a su uso del término lingüístico 'nombre propio', sea lo que fuere el denotado de un nombre propio, es un objeto, es decir que hay o al menos puede haber, un nombre propio que lo denote".

Sin embargo, la manera en que Dummett "soluciona" la dificultad no resulta del todo adecuada.

Frege advierte, "lo que entiendo por objeto, puede ser analizado con mayor exactitud solamente en conexión con el concepto y la relación".

Y también cito: "Objeto es todo lo que no es función, la expresión de lo cual, por tanto, no lleva consigo un lugar vacío".

El agregado de Dummett es realmente interesante pues parece solucionarle un problema a Frege. Obtiene la conclusión de que, según Frege, podemos decir que algo es un objeto aunque no posea un nombre propio que lo denote. Sin embargo, no es claro cómo de la posibilidad de que haya un nombre propio para x , se sigue que x es un objeto.

Evidentemente podemos decir que algo es un objeto -al menos así parece- aunque no haya un nombre propio que lo denote, puesto que si x no es una función, entonces es un objeto. Pero afirmar esta última tesis es muy distinto a afirmar que algo es un objeto de la manera en que lo hace Dummett, por dos razones: primera, Frege no se expresó en términos modales; segunda, necesitamos mucha más argumentación para mostrar cómo se seguiría la conclusión de que x es un objeto, proporcionando como única premisa que "puede haber un nombre propio que lo denote".

Sin embargo, si omitimos el "al menos puede haber" que agrega Dummett, se seguiría entonces que todo objeto tiene un nombre propio que lo denote, lo cual contradice ciertas consideraciones intuitivas que el mismo Frege aceptaba; y también contradice hechos como por ejemplo, que una piedra es un objeto aunque carezca de nombre propio.

Hay evidentemente una dificultad de las caracterizaciones fregeanas en torno a lo que es un objeto. Cuando Frege nos dice que acepta "objetos del sentido común" dentro de su categoría de objeto, uno no puede estar de acuerdo con él. Pero cuando nos pide que constructemos "cosas" con funciones para mostrar cuándo son objetos, nuestras intuiciones y nuestro sentido común empiezan a confundirse. Según parece, Dummett se hizo cargo de esa dificultad mediante su interpretación modal, pero desafortunadamente no hay apoyos textuales a su favor y tampoco un argumento claro que muestre cómo de la posibilidad de que algo sea denotado por un nombre propio se sigue que ese algo sea un objeto.

Consideremos en detalle esta categoría. Hay dos caracterizaciones -aparentemente complementarias- que nos ofrece Frege:

(O) Si una expresión es un nombre propio (esto es, es una expresión saturada) entonces, si denotara algo, denotaría un objeto.

(O*) Algo es un objeto si y sólo si, hay un nombre propio (esto es, una expresión saturada) que lo denote.

De acuerdo a (O), las consideraciones lingüísticas son condiciones suficientes para caracterizar el plano ontológico. Sin embargo, es obvio que esta condición suficiente deja fuera a todos aquellos "objetos" que no poseen un nombre propio. Siendo este el caso, ¿cómo justificaríamos, por ejemplo, que los números son objetos si es bien sabido que hay más números que numerales?. En suma ¿cómo justificar que hay más objetos en el universo que objetos nombrados?. La respuesta de Valdivia [Valdivia, 1989], que difiere de la de Dummett [Dummett, 1978], es como sigue:

1 Si un concepto toma por argumento algo de una categoría, toma todas las entidades de esa categoría y nada más.

2 Luego, (caso particular de 1) si un concepto puede tomar un objeto como argumento,

entonces puede tomar cualquier objeto como argumento y no puede tomar ninguna función. (Frege llama a este tipo de conceptos, función de primer nivel).

3 Hay piedras que tiene nombre propio (en sentido fregeano), cuya inserción en '[] es piedra' da lugar a un enunciado verdadero.

4 (De 3 y el criterio lingüístico de Frege para objetos) El concepto piedra (denotado por el predicado '[] es piedra') toma algunos objetos como argumentos.

5 Por lo tanto (de 4), todas las piedras del universo son objetos, tengan o no, nombre propio, por la razón de que el concepto piedra se aplica a todas ellas; y por 4, tal concepto toma sólo objetos como argumentos, no funciones.

6 Pero obviamente hay piedras sin nombre; luego por 4, hay objetos no nombrados.

Así pues, aunque (O) sólo proporciona criterios suficientes para determinar cuándo algo es un objeto, puede utilizarse en conjunción con otras tesis fregeanas para mostrar cómo es posible admitir objetos sin nombre propio. Sin embargo, en este argumento se emplea la premisa de que todo aquello que no sea una función, es un objeto (premisas 4 y 5); y esta premisa es también una tesis cuestionable y difícil de aprender. ¿Como llevar a cabo el contraste?. En resumen, el argumento depende de una serie de premisas cuya elucidación dista mucho de ser clara.

Consideremos ahora una versión fuerte de (O) que sí nos proporcione criterios necesarios y suficientes, a saber, la citada (O*). Esta definición, es insostenible pues según (O*) decir que algo es un objeto es decir que hay un nombre propio que lo denote. De esto se sigue inmediatamente que no puede haber más objetos que nombres propios para ellos, lo cual es contradictorio con la afirmación de Frege de que las clases son objetos.

Hemos considerado (O) y (O*) como posibles "criterios" o "caracterizaciones" o "definiciones" de lo que es la categoría de objeto. Tanto (O) como (O*) recurren primordialmente a nociones lingüísticas e involucran el uso del enunciado (A). En ambos casos los resultados han sido insatisfactorios. Primero, porque hay más objetos que nombres para ellos que no podemos justificar simplemente tomando sólo en cuenta (O). Para poder conciliar las tesis fregeanas según las cuales los números, las clases, los objetos del mundo común son objetos, con la caracterización de la categoría de objeto mediante (O), debemos recurrir -entre otras cosas- a la tesis según la cual todo aquello que no sea una función es un objeto; y como se ha visto, esta tesis es oscura. Y segundo, porque la caracterización (O*) es francamente contradictoria para la teoría.

En suma, aunque podríamos acercarnos a la categoría de objeto mediante (O) y el "criterio de exclusión ontológica", esto es, apelando a que lo que no es una función es un objeto, es difícil emplear ambos "criterios" juntos para admitir objetos -en sentido amplio- que carezcan de nombre propio; pues, a falta del nombre propio (O) no es útil y la exclusión

ontológica es dudosa porque deberíamos primero identificar claramente aquello que sea una función.

1.3.1.5 Nombres propios y saturación

La completez o saturación de las expresiones es el supuesto en que se fundamenta esta categoría. La saturación se le entiende no sólo en el sentido de que se proyecte o se muestre en la expresión, esto es, que los signos que forman al nombre como tal, configuren una expresión completa, sin agujeros; sino también que aquello que el signo exprese sea un contenido completo. De acuerdo con la caracterización de la noción de sentido, todo signo expresa su sentido. Para Frege, los sentidos son objetos; y como los nombres propios son expresiones completas sus sentidos son, por tanto, entidades completas. En el caso de las oraciones declarativas es claro cómo la completez no sólo concierne a la expresión (a la sintáxis), sino a lo que ella expresa (el pensamiento), tanto, como aquello a lo que pudiera referir (un valor veritativo). En otras palabras, la completez concierne no sólo a la sintáxis, sino también a la semántica, entendida ésta en términos de lo que exprese y pueda denotar el signo.

Si enumeramos los indicios que Frege proporciona en sus escritos para incluir una expresión dentro de la categoría de nombre propio, es fácil advertir que la completez es la única condición con la que podemos contar en tanto que las restantes -distinguidas claramente unas de otras-, resultan prescindibles e incluso pueden formularse de manera "paradójica" como sigue:

(a) Una expresión es un nombre propio si es una expresión saturada y denota un objeto.

(~a) Una expresión es un nombre propio si es una expresión saturada y no denota un objeto

(b) Una expresión es un nombre propio si es una expresión saturada y su estructura es simple.

(~b) Una expresión es un nombre propio si es una expresión saturada y no denota un objeto.

(c) Una expresión es un nombre propio si es una expresión saturada y describe a su denotado.

(~c) Una expresión es un nombre propio si es una expresión saturada y no describe a su denotado.

En todos los caso encontramos la afirmación y negación de una característica: la expresión denota y no denota, es simple ('Aristoteles') y no simple ('Manuel trabajó en vacaciones')

y finalmente, describe ('el muchacho de camisa azul') y no describe ('Luis') y la manera de conciliar tales características es formulándolas en términos de disyunción exclusiva:

(a*) Si una expresión es saturada y denota o no denota un objeto, es un nombre propio.

(b*) Si una expresión es saturada y su estructura es simple o no simple, es un nombre propio.

(c*) Si una expresión es saturada y describe o no describe al objeto que denota (si lo hubiera), es un nombre propio.

1.3.1.6 Sentido y Referencia

Una de las distinciones más importantes de la filosofía fregeana, a saber, es la distinción entre el sentido y la referencia de las expresiones, surge ante una preocupación conceptual específica del campo de la matemática: la elucidación de la noción de identidad. Esto refuerza la tesis T1 y la combinación de las tesis T2 y T3. En cierta manera Frege considera que los sentidos (pensamientos) por ejemplo de las oraciones, pueden ser verdaderos sin ser aceptados por quien piensa e, incluso así, no son completamente inactuales, al menos si pueden ser captados y, de este modo, puestos en acción, y estas entidades sin embargo no son irreales. Los pensamientos no son completamente inactuales, pero su actualidad es de un género completamente diferente de las otras cosas.

Es realmente difícil caracterizar la noción fregeana de sentido pues no tenemos un criterio que permita por lo menos decir, cuándo dos sentidos son idénticos, y no sólo eso, sino que sentidos que uno podría, serían equivalentes, para Frege no lo son. Por ejemplo, las expresiones "2²" y "4", tienen el mismo denotado, y dado que la identidad es un caso de equivalencia, la ecuación "2² = 4" habría de ser una tautología en virtud del logismo de Frege. Sin embargo, Frege no admite que posean el mismo sentido. Quizás uno estaría tentado a pensar que el único motivo que hay para negar que estas expresiones -que para Frege son lógicamente equivalentes-, posean el mismo sentido, es que son expresiones distintas y que de alguna manera oscura, "presentan de distinto modo" al denotado. Sin embargo, por otra parte, Frege admite expresiones distintas, como "Aristoteles" y el "discípulo de Platón" posean no sólo el mismo referente, sino también el mismo sentido.

La noción de sentido es indudablemente, esencial para la semántica de Frege. Sin embargo, la caracterización más clara que podemos obtener de ella, es sólo para el caso de sentido de oraciones declarativas, pues para el caso de sentido de nombres genuinos, encontramos, más dificultades. El caso extremo, a donde la noción de sentido se oscurece por completo, concierne al sentido de los nombres de función.

Por lo que concierne a la noción de referencia, cabe simplemente señalar que fácilmente se puede confundir con la de objeto al suponer que toda referencia es un objeto. En otras palabras, que el conjunto de referencias o denotados es exactamente el mismo que el de los objetos. Sin embargo, si recordamos que los nombres de función, cuando refieren, lo hacen no a objetos sino a funciones, es claro que no todo referente es un objeto y por tanto, el conjunto de los referentes, contiene al de los objetos [Valdivia, 1985]

1.3.2 Las oraciones y los principios de la semántica

Alonzo Church, en su libro "Introduction to Mathematical Logic" [Church, 1956], se ocupa de reconstruir de manera clara los principios que rigen la semántica fregeana. Frege no los formula de manera explícita, por tanto la formulación de Church es como sigue:

- I) Si dos expresiones tienen el mismo sentido, tienen la misma denotación (siempre y cuando no carezcan de ella).
- II) Cuando un nombre constituyente de un nombre compuesto no tiene denotación, el nombre compuesto tampoco la tiene.
- III) Cuando en un nombre compuesto se reemplaza uno de sus nombres constituyentes, por otro de la misma denotación, no se altera la denotación del nombre propio compuesto (siempre que tenga una denotación).
- IV) Cuando en un nombre compuesto se reemplaza uno de sus nombres constituyentes, por otro del mismo sentido, el sentido del nombre propio compuesto no cambia.

Lo que establece el principio (I) es que un sentido tiene siempre una única denotación, en el caso de que la expresión a la que corresponde el sentido, denote. La univocidad del sentido se puede inferir fácilmente de la siguiente cita:

La conexión normal entre un signo, su sentido y su denotación, es de tal tipo que al signo corresponde un sentido determinado, y a éste (al sentido) a su vez, una denotación determinada, mientras que a una denotación dada (un objeto), no corresponde solamente un único signo.

El razonamiento que nos llevaría a formular (I) es muy simple. Si a un sentido corresponde una denotación determinada, en caso de que el signo denote, es obvio que si dos sentidos son idénticos, tendrán entonces la misma denotación.

En los principios (II), (III) y (IV), se formula una distinción entre nombre propio y nombre propio compuesto. Aunque ya hemos utilizado con anterioridad esta terminología, conviene recordar ahora que un nombre propio simple, puede ser por ejemplo, lo que Frege llama

un nombre propio genuino, como: "Aristóteles", "Betty", etcétera. Mientras que un nombre propio compuesto bien podría ser una oración declarativa, o una descripción definida.

El principio (II) a diferencia de los principios (III) y (IV), concierne al nombre propio compuesto como totalidad, en otras palabras, a las consecuencias que pueden extraerse acerca del nombre propio compuesto, dependiendo de las características del nombre propio genuino, que figure como componente de la oración. Mientras que los principios (III) y (IV) aluden a los nombres propios inmersos en el nombre propio compuesto. Podemos encontrar la formulación implícita del principio (II) en la siguiente cita:

¿Es posible que una oración tenga sólo sentido pero no denotación?. Sin duda, se puede suponer que tales oraciones existen, así como hay partes de oraciones que tienen sentido pero no denotación. Las oraciones que contienen nombres propios sin denotación son de este tipo.

La oración:

Odiseo fue arrojado a las costas de Itaca mientras se encontraba profundamente dormido.

carece de denotación, dado que el nombre propio "Odiseo", que figura en el nombre propio compuesto, carece de denotación:

... puesto que es dudoso que el nombre "Odiseo" que figura en ella denote, es también dudoso que la oración tenga denotación.

La formulación del principio (III) se encuentra en los textos de Frege como sigue:

Supongamos por el momento que la oración tiene una denotación. Si reemplazamos una palabra (un nombre propio) de la oración, por otra parte que tiene la misma denotación pero diferente sentido, esta sustitución no puede afectar la denotación de la oración.

Es importante notar que el principio (III) establece sólo que, si la sustitución de un nombre por otro se hace sobre la base de que los nombres intersustituídos tengan la misma denotación, la denotación del nombre compuesto no cambia, pero esto obviamente no asegura que el sentido del nombre compuesto permanezca inalterado. Es obvio que el sentido del nombre compuesto puede cambiar, si recordamos que "... a una denotación dada no corresponde un único signo..." y por tanto, si podemos nombrar a un denotado mediante signos distintos, es plausible suponer que cada signo pudiera conllevar sentidos distintos.

... sólo el sentido de los componentes y no su denotación, es relevante para el sentido de la oración.

Debido a que los ejemplos que verifican el uso de este principio, presupone el uso de la teoría de Frege sobre el contexto indirecto nos restringiremos sólo a este apoyo textual.

1.3.2.1 Oraciones declarativas

De acuerdo con la tesis (T1), la semántica de Frege es unificada, de ahí que expresiones del lenguaje cotidiano como:

La historia de la filosofía cuenta que Aristóteles fue el discípulo de Platón.

o bien expresiones del lenguaje matemático como: $1+1=2$ o $x^2=4$ tiene sólo dos raíces.

Frege las tome como oraciones, o de manera más precisa, como nombres propios complejos.

La función de nombrar que desempeñan ciertas expresiones del lenguaje cotidiano, a las que llamamos "nombres propios", es la que Frege trata de recoger en su semántica. De manera paralela, así como hay "nombres propios" en el lenguaje ordinario, los hay también en su semántica. En el lenguaje cotidiano, aceptamos como "nombres" a las expresiones que Frege llamó "nombres propios paradigmáticos" en virtud de que por lo general cumplen esta función. Así como hay "nombres propios" en los lenguajes naturales, de los cuales es dudoso que realmente nombren, en la semántica de Frege hay, por ejemplo, nombres complejos, de los cuales sería dudoso que nombraran. Por ejemplo es dudoso que nombre realmente algo:

Odiseo fue arrojado a las costas de Itaca mientras dormía profundamente.

Las consideraciones que le sirven a Frege para proponer su tesis de que las oraciones son nombres propios, son completamente paralelas a las que hacemos en los lenguajes naturales. Así como tomamos de punto de partida los "nombres propios paradigmáticos" -esto es nombres que si poseen un referente-, para sostener que también son nombres aquellas expresiones similares a las primeras aún cuando no posean un referente; Frege toma como punto de partida a ciertas oraciones declarativas que nombran, para concluir como nombres propios a todas las demás oraciones, de las que es dudoso suponer que nombren.

De la misma manera en que Frege ha concluido que los nombres propios -nombres genuinos y descripciones- son expresiones que denotan o no un objeto; concluiría que las oraciones son expresiones que también nombran o no un objeto. Esta última conclusión es parte de lo que establece el antecedente de la condición:

(a*) Si una expresión es saturada y denota o no un objeto, entonces es un nombre propio.

y restaría sólo mostrar que se cumple la otra parte del antecedente, a saber, que es una expresión sin agujeros (saturada). Pero esto es fácil de mostrar puesto que las oraciones son expresiones completas o saturadas, cuyo sentido es también completo.

En resumen, el antecedente de (a*) está formado por la conjunción de la característica de saturación y por la disyunción de poseer o no un denotado. Es conveniente por tanto, considerar como hipótesis de trabajo que las oraciones son expresiones saturadas y mostrar que se cumple la segunda parte del antecedente presentado el "argumento" fregeano que sostiene que oraciones declarativas que poseen valor veritativo denotan precisamente La Verdad o La Falsedad, según el caso. Estas oraciones cumplen la función de nombrar puesto que guardan el mismo tipo de relación con sus valores veritativos, que el que guardan los "nombres propios paradigmáticos" con sus denotados.

La tesis de que los denotados de las oraciones declarativas son sus correspondientes valores veritativos (cuando los hay), es la tesis fregeana que más extrañeza ha causado a los filósofos. Thomas M. Simpson [Simpson, 1975] se ocupa especialmente de ella en dos artículos: "Dos Problemas en la doctrina de Frege" y "Oraciones, nombres propios y valores veritativos en la teoría de Frege". A Simpson se debe una brillante reconstrucción de la conjetura que apoya esta tesis fregeana.

1.3.2.2 Oraciones como nombres propios

Si una oración fuese un nombre propio, sería un nombre propio compuesto. Si es un nombre propio compuesto, deberá poseer un denotado. La pregunta inmediata que se hace Frege es: ¿cuál es el objeto denotado por las oraciones? y la sorprendente respuesta de Frege es: un valor veritativo. Las razones que aduce para pensar que los valores veritativos son los denotados de las oraciones, es que no podemos prescindir de la denotación, cuando nos preocupamos por el valor veritativo de una oración:

Pero ¿por qué queremos que todo nombre propio tenga no solamente un sentido, sino también una denotación?, ¿Por qué el pensamiento solo [sentido] no nos resulta suficiente?, ¿Porqué, y en la medida en qué, nos interesa el valor veritativo?. Es la búsqueda de la verdad, lo que nos conduce del sentido a la denotación.

Si las oraciones denotan valores de verdad, es natural suponer que su relación con tales objetos obedecerá a los principios generales que rigen la conexión entre nombres propios compuestos y sus denotados. Esta consideración suministra una "vía experimental" para poner a prueba la conjetura sobre la denotación de las oraciones.

Reformulemos (II) y (III) para el caso de oraciones, sustituyendo nombre propio compuesto por "oración" y denotado (en los casos pertinentes) por "valor veritativo", como sigue:

- (II) Cuando un nombre constituyente de una oración no tiene denotación, la oración no tiene valor de verdad
- (III) Cuando un nombre constituyente de una oración se reemplaza por otro de la misma denotación, el valor de verdad no cambia (siempre y cuando no carezca de él).

Aplicaremos ahora los principios (II) y (III) a las siguientes oraciones (1) y (2) respectivamente, para mostrar que se cumplen:

- (1) Odiseo fue arrojado a las costas de Itaca mientras se encontraba profundamente dormido.

El nombre propio compuesto (1) no tiene valor de verdad, porque su nombre constituyente "Odiseo" carece de denotación. En otras palabras, si el nombre constituyente de una oración no denota, entonces la oración que lo contiene, tampoco. Es importante advertir que, no por ello, la oración (1) carece de sentido, sino simplemente de denotación Strawson [Strawson, 1973] él acepta junto con Frege esta tesis intuitiva, es decir, si una oración no tiene valor veritativo no implica que carezca de sentido.

- (2) La estrella vespertina tiene 8000 km. de diámetro.

Si en el nombre propio compuesto (2) reemplazamos el nombre constituyente "la estrella vespertina" por el nombre "la estrella matutina", y ambos nombres constituyentes denotan a uno y el mismo objeto, entonces la denotación -o el valor de verdad, según el principio (III)-, no se altera.

En resumen, dado que los principios (II) y (III) reformulados se aplican a las oraciones declarativas, Frege concluye que **Lo Verdadero** y **Lo Falso**, son los objetos denotados por este tipo de oraciones. Finalmente, las oraciones declarativas (que son verdaderas o falsas) denotan sus valores veritativos, porque guardan con éstos el mismo tipo de relación que guardan los nombres propios con sus denotados; y también, así como los denotados de los nombres propios son objetos, lo que las oraciones denotan también son objetos:

Un enunciado afirmativo (una oración) no contiene ningún lugar vacío, y por eso hay que considerar que su referencia es un objeto. Esta referencia, empero, es un valor veritativo.

Por lo tanto, ambos valores veritativos son objetos. Y para nuestro asombro, Frege considera que su conclusión es francamente natural:

Estos dos objetos (**Lo Verdadero** y **Lo Falso**) son reconocidos, aunque sea tácitamente, por todo aquél que juzga algo como verdadero, inclusive por el escéptico.

Si este argumento es concluyente, Frege probó que ciertas expresiones a las que llamamos comúnmente "oraciones" nombran, y que por esa razón caen bajo la categoría de nombre propio en su semántica. Por otra parte, si ciertas oraciones nombran, podemos entonces estar tentados a pensar, en general, que las oraciones son el tipo de expresiones que estaríamos dispuestos a aceptar como nombres. Así se establece el segundo conyunto del antecedente de (a*).

En el transcurso de este apartado hemos aludido reiteradamente a otras "oraciones" que no son nombres propios ni de la verdad ni de la falsedad. Frege realizó un análisis cuidadoso para mostrar por qué motivo estas "otras" oraciones no pueden ser los nombres propios de los valores veritativos, aun cuando se les considere igualmente nombres propios.

El sentido de una oración es generalmente el pensamiento que ella expresa, si uno dice: el pensamiento es el sentido de una oración, no quiere decir que el sentido de toda oración sea un pensamiento.

La tesis de que las oraciones son nombres propios de sus respectivos valores veritativos (cuando los hay), tiene dos aspectos:

- a) Que las oraciones son nombres propios.
- b) Que los objetos nombrados por ellas son **Lo Verdadero** o **Lo Falso**, según el caso.

1.3.2.3 Nombres Genuinos y Descripciones

Finalmente hemos llegado a nuestro objetivo de definir una **palabra clave**. Esto se deriva de las consideraciones de la semántica de Frege, con respecto a los nombres propios genuinos.

La fuerza explicativa y el carácter innovador de la semántica fregeana, descansan en gran medida en la noción de sentido que surge a partir de la elucidación de un problema específico: ¿cuál es la interpretación adecuada del signo de equivalencia usado en matemática?. Y debido a qué, la relación de equivalencia es un caso de identidad, Frege se ocupa posteriormente de explicar el distinto contenido cognoscitivo entre enunciados de identidad de la forma " $A=A$ " y aquéllos de la forma " $A=B$ ", cuando estos últimos se conocen a posteriori.

Que " \equiv " es un caso de " $=$ " puede mostrarse mediante el siguiente razonamiento. Expresiones de la forma " $P \equiv Q$ " son identidades en virtud de lo siguiente. Por la tabla de verdad del bicondicional " $P \equiv Q$ " es verdadero cuando P y Q tienen los mismos valores de verdad. Pero si P y Q tienen los mismos valores de verdad, como las oraciones son nombres de sus valores veritativos, entonces también será verdadera la afirmación que se obtenga reemplazando " \equiv " por " $=$ " dado que " $A=B$ " es verdadero si y sólo si A y B denotan lo mismo. Luego, " \equiv " es un caso de identidad.

En 1879, Frege no contaba aún con su noción de sentido, y trataba de elucidar la noción de "identidad". Intentaba establecer acerca de qué se le afirmaba: si la relación se daba entre objetos o bien, entre nombres o signos de objetos. En 1891, en su artículo "Función y concepto", advierte que la identidad es aquella relación que una cosa guarda consigo misma y con ninguna otra. Por tanto, la identidad debiera entenderse como una relación entre objetos. Posteriormente, en un artículo no publicado sino hasta después de su muerte, cuyo título español es "Consideraciones sobre sentido y referencia", escrito muy probablemente entre los años de 1892-1895, Frege agrega que no sólo la relación de identidad debiera entenderse entre objetos, sino que sólo se puede formular adecuadamente entre ellos:

Hemos visto hasta aquí que la relación de igualdad no puede ser concebida también entre conceptos, pero que hay una relación correspondiente entre ellos. La palabra "el mismo", que se emplea para designar esa relación entre objetos, no puede servir propiamente también para la designación de esta relación entre conceptos.

Tomando en cuenta estas consideraciones y la tesis de que la identidad se establece sólo entre objetos, Frege distinguió entre el número y el numeral a fin de validar ciertos enunciados matemáticos de identidad:

$$1 + 1 = 2$$

$$2 = 2$$

ambas oraciones afirman que la identidad una cosa -el número 2- guarda consigo misma y con ninguna otra. El primer enunciado tiene la forma " $A=B$ ", en tanto que el segundo " $A=A$ ". Aunque ambos se conocen a priori, la expresión (1) dice algo diferente de lo que afirma la expresión (2).

La primera puede entenderse como:

(1*) El número resultante de sumar dos veces del denotado del signo "1" es igual a 2.

La expresión " $1 + 1$ " sería equiparable a expresiones de la forma "el tal y tal"; en tanto que el signo "2" sería semejante a lo que Frege llama nombre propio genuino. Por tanto, ambas expresiones nombran al mismo objeto, pero lo hacen de manera distinta. Para

explicar la diferencia entre "A=A" y "A=B", en el caso en el que "A=B" es verdadero e informativo, hay que encontrar una diferencia expresable mediante los signos que nombran a los objetos de dicha relación. En un primer momento, Frege distinguió del signo a lo denotado por él, pero resta aún un elemento "informativo" -como en (1*)- que debe tomar su lugar; y obviamente, no será en el objeto mismo, sino en la manera en la que se le nombra.

Por estas razones, podríamos pensar que la noción de sentido empieza a perfilarse en "Función y concepto" de una manera muy intuitiva. En el caso de enunciados matemáticos como (1) y (2), que tienen la forma "A=B" y "A=A", no habría ninguna distinción epistemológica entre ámbos si entendemos que tal diferencia se basa en la manera en que se los conoce, puesto que ambos se conocen a priori. En cambio sí hay un contenido "informativo" distinto entre ellos. Sólo cuando Frege considera que ciertos enunciados de la identidad de la forma "A =B" se conocen a posteriori, y los formula en el lenguaje ordinario, puede dar un contenido más rico de la noción de sentido, la distinción sentido, referencia aplicada a casos como:

La estrella vespertina es la estrella matutina (3)

es clara. Sin embargo, al generalizar la aplicación de esta distinción a todo signo, las nociones de sentido y referencia se oscurecen. Si jerarquizamos las expresiones consideradas como nombres propios, en el mismo orden en el que Frege extendió su noción de nombrar, esto es, partiendo de los nombres propios genuinos, inmediatamente después las descripciones definidas y finalizamos por las oraciones, encontramos una asimetría respecto de la claridad de las nociones de sentido y referencia que se aplican a dichas expresiones.

La noción de referencia es mucho más clara e intuitiva para el caso de nombres propios genuinos que para el caso de expresiones de la forma "el tal y tal"; y bastante "extraña" en el caso de oraciones. Por lo que concierne al sentido, el orden es inverso. El sentido de una oración declarativa resulta mucho más comprensible, por cuanto se le entiende generalmente como un pensamiento; el sentido de una expresión de la forma "el tal y tal" pareciera semejarse mucho más a lo que uno entiende por el sentido de una oración, aunque en ocasiones parece expresar algo incompleto. Por último, el sentido de los nombres propios genuinos es una cuestión actualmente en debate.

Frege equipara el sentido de un nombre propio genuino con el sentido de alguna descripción definida asociada al nombre. Estas consideraciones nos sirven ahora para introducirnos en las interpretaciones que ha recibido la noción de sentido en el caso de los nombres propios genuinos. Que es precisamente lo que utilizaremos en el caso de las palabras clave y quedará establecido al final de esta sección.

1.3.2.4 Interpretación estándar

Si los nombres propios: "Estrella matutina" y "Estrella vespertina" poseen sentido, es plausible suponer que también lo tengan los nombres propios genuinos.

Es el caso de los nombres propios genuinos como "Aristóteles", las opiniones pueden diferir en lo que atañe al sentido. Por ejemplo, podría ser aceptado como tal el siguiente: el discípulo de Platón o el maestro de Alejandro el Magno. Quien así lo haga, adjudicará a la oración: "Aristóteles nació en Estagira", un sentido diferente de quien considere que el sentido del nombre "Aristóteles" es: el maestro de Alejandro el Magno que nació en Estagira. En tanto la denotación siga siendo la misma, estas variaciones del sentido pueden tolerarse, pero deberán evitarse en la estructura teórica de una ciencia demostrativa, y no deberán aparecer en un lenguaje perfecto.

¿Cómo entender el sentido del nombre propio genuino?. La interpretación estándar sostiene que el sentido del nombre propio genuino corresponde con el sentido de alguna descripción definida asociada a él. En otras palabras, el sentido del nombre propio genuino es el sentido de la o las descripciones asociadas al nombre. Si esto es así, entonces la semántica fregeana presenta los dos problemas siguientes.

El primero se formula en estos términos. Tomemos por ejemplo el nombre "Aristóteles", que de acuerdo con la semántica de Frege, coincide en sentido con el sentido de alguna descripción, por ejemplo, el de la descripción "el discípulo de Platón". Supongamos ahora que tanto el nombre propio genuino como la descripción definida, refieren a uno y el mismo individuo. Siendo esto así, son verdaderos los enunciados:

El discípulo de Platón = El discípulo de Platón (1)

Aristóteles = El discípulo de Platón. (2)

Ahora bien, alejándonos por un momento de las tesis fregeanas, uno diría sensatamente que el enunciado (2) "informa" algo que no transmite el enunciado (1). Y con Frege, sostendríamos que (2) "amplia nuestro conocimiento". Si esto es así, entonces estos enunciados serían paralelos a los enunciados:

La estrella matutina = La estrella matutina (3)

La estrella matutina = La estrella vespertina (4)

Diríamos por tanto que así como los enunciados (3) y (4) difieren en valor cognoscitivo, los enunciados (1) y (2) también difieren. Y dado que la distinción sentido-referencia permitió explicar el distinto valor cognoscitivo entre (3) y (4), es plausible suponer que la noción de sentido cumplirá la misma función en el caso de los enunciados (1) y (2).

Sin embargo, puesto que bajo la interpretación estandar hemos asumido que el sentido del nombre "Aristóteles" coincide con el sentido de la descripción "el discípulo de Platón", no podemos apelar a la distinción de sentidos de las expresiones relacionadas por la identidad, para explicar el distinto valor cognoscitivo de los enunciados (1) y (2).

En otras palabras, los términos a izquierda y derecha del signo "=" expresan exactamente el mismo sentido. Obviamente, se seguirían las mismas consecuencias con cualquier otra descripción definida usual, asociada con "Aristóteles", pues sea cual fuere la descripción que elijamos, si mantenemos la tesis de que el sentido de esa descripción es el sentido del nombre propio al que se la asocia, nuevamente, ambos términos expresarán el mismo sentido.

Finalmente, debido al principio (I) que establece que si dos expresiones tienen el mismo sentido la referencia, si la hay, es también la misma, debiera entonces resultar una verdad obvia y a priori la expresada por el enunciado: "Aristóteles es el discípulo de Platón" -si conociéramos a priori el significado de los términos-. Los enunciados (3) y (4) expresarían exactamente lo mismo. Y estas consideraciones se refuerzan más todavía, si a la tesis de que el sentido de un nombre propio genuino es el sentido de alguna descripción asociada a él, añadimos la afirmación fregeana según la cual "forman parte del nombre todas las designaciones (descripciones) asociadas".

La distinción sentido-referencia surge para explicar la diferencia cognoscitiva entre enunciados "A=A" y "A=B". Establecida la distinción, se la formula como un principio que rige a todo signo, en particular, se aplica a los nombres propios genuinos. Pero una vez que hacemos este tránsito y formulamos enunciados de los dos tipos en los que figuren nombres propios genuinos y descripciones, obtenemos como consecuencia que la diferencia original aquella que motivó la distinción, desaparece.

1.3.3 Palabras clave

Con esta última intervención sobre los nombres propios genuinos establecemos que una **palabra clave** se usa como el sentido de alguna descripción definida asociada al nombre, en donde el sentido debe dar cuenta de nociones relacionadas con las de significado, connotación, concepto, etc. Esto es el sentido debe ser absolutamente comunicable, tal como lo afirma Dummett:

Las oraciones de un lenguaje ideal expresarían pensamientos (sentidos) en virtud de los principios que gobiernan el uso de sus palabras constituyentes, principios capaces de formularse sistemáticamente. Porque el pensamiento es comunicable sin residuo, y porque lo que se comunica depende sólo de la aprehensión común de los principios que gobiernan el lenguaje, esto es aquéllo que está abierto a la observación en el uso del lenguaje, sin la ayuda de ningún supuesto contacto entre mente y mente, sino sólo por la vía del lenguaje.

Por lo tanto sentido, objetivo y comunicable es transparente ante nuestro entendimiento, es un rasgo innegable de la noción de significado, es decir si alguien adjudica a dos palabras ciertos significados, debe entonces saber cuándo esos significados son los mismos. Por último, el sentido proporciona algún criterio específico para reconocer el objeto nombrado y además el sentido que expresa un nombre no es siempre "verbalizable" de una manera alternativa expresada por el signo. Así pues emplearemos **palabras claves** bajo esta semántica.

1.3.4 Los inventarios

Los inventarios I_j en este contexto de SEs, son conjuntos de parejas ordenadas de palabras clave que caracterizan semánticamente a un conjunto de oraciones. Un conjunto de oraciones como se ha mencionado es una BC, si estos conjuntos tratan o refieren a un discurso, entonces ellos serán considerados como temas. En este contexto se verá que una BC es un tema, y será considerado de esa forma a lo largo de esta tesis, por lo cual un tema es un texto o asunto sobre el cual versa un discurso, realmente es conocimiento estructurado y genérico, en el capítulo cuatro nuevamente se da la definición de él.

Cada conjunto de oraciones contiene un número determinado de palabras clave que se encuentran relacionadas unas con otras por medio de sus oraciones, la razón de llamarle inventario fue precisamente de que había un número de ellas que podía cambiar. Esto va relacionado con la idea de que cuando hablamos de SEs sabemos que son sistemas incrementales y por lo tanto los conjuntos de oraciones o BCs pueden aumentar o disminuir, por consecuencia las palabras clave también.

Los inventarios están asociados a los conjuntos de oraciones o BCs e intuitivamente podemos plantear un subproblema del problema original:

Si G_1, G_2, \dots, G_n son conjuntos de oraciones y T es un enunciado fuente en lenguaje natural entonces, si existen palabras clave en T idénticas a las que se encuentren los inventarios I_j con $j=1, 2, \dots, n$, se tendrá vinculación semántica entre T y los conjuntos de oraciones G_j para algunas j.

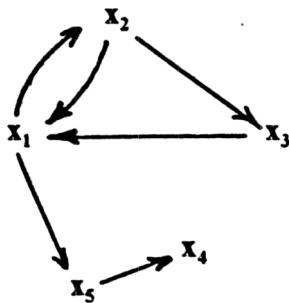
Con el fin de formalizar el inventario, supongamos que $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ es un conjunto de palabras clave

Una gráfica Γ es una colección de puntos o vértices x_1, x_2, \dots, x_n de X y una colección de líneas a_1, a_2, \dots, a_m denotado por el conjunto A uniendo todos o algunos de esos vértices. La gráfica Γ esta totalmente descrita y denotada por la pareja (X,A). Las líneas en A tienen una dirección, que usualmente se muestra por una flecha, y son llamados arcos y la gráfica resultante es una gráfica dirigida. Si las líneas no tienen orientación son llamados eslabones y la gráfica no es dirigida. No estamos interesados en esas gráficas no dirigidas por el momento y no serán consideradas.

La dirección de un arco denotado por sus vértices inicial y final se supone del primero al segundo, esto es si x_1 y x_2 son vértices terminales en donde x_1 es inicial y x_2 es vértice final, entonces, (x_1, x_2) es el arco a_1 que es una flecha que va de x_1 a x_2 .

Una manera equivalente y más elegante para describir una gráfica dirigida Γ es a través de un conjunto X de vértices y una correspondencia f que muestra como los vértices son relacionados unos con otros. f es un mapeo del conjunto X en si mismo y la gráfica es denotada por $\Gamma=(X, f)$.

Esto es: un inventario I_j es una $\Gamma_j=(X, f)$ tal que $f: X \rightarrow X$



algunas correspondencias

$$f(x_1) = \{x_2, x_5\}; f(x_2) = \{x_1, x_3\}; f(x_4) = \emptyset$$

Ya que $f(x_i)$ ha sido definido por medio de un conjunto de vértices $x_j \in X$ para el cual un arco (x_i, x_j) existe en la gráfica, es natural escribir como $f^{-1}(x_i)$ el conjunto de vértices x_k para el cual el arco (x_k, x_i) existe en Γ . La relación $f^{-1}(x_i)$ es llamada la correspondencia inversa. Así de nuestro ejemplo:

$$f^{-1}(x_1) = \{x_2, x_3\}$$

$$f^{-1}(x_2) = \{x_1\}$$

Cuando la correspondencia f no aplica a un simple vértice sino a un conjunto de vértices tal como $X_q = \{x_1, x_2, \dots, x_q\}$, entonces $f(X_q)$ es tomada como:

$$f(X_q) = f(x_1) \cup f(x_2) \cup \dots \cup f(x_q)$$

es decir $f(X_q)$ es el conjunto de vértices $x_j \in X$ para los cuales al menos un arco (x_i, x_j) existe en Γ para algún $x_i \in X_q$. Así $f(\{x_2, x_3\}) = \{x_1, x_3, x_4\}$ y $f(\{x_1, x_3\}) = \{x_2, x_5, x_1\}$

La doble correspondencia o composición $f(f(x_i))$ es escrita como $f^2(x_i)$. Similarmente la triple correspondencia $f(f(f(x_i)))$ es escrita como $f^3(x_i)$, etc. Ejemplo

$$f^2(x_1) = f(f(x_1)) = f(\{x_2, x_5\}) = \{x_1, x_3, x_4\}$$

Similarmente $f^2(x_i)$, $f^3(x_i)$ y así sucesivamente

$$f^2(x_2) = f^1(f^1(x_2)) = f^1(x_1) = \{x_3, x_2\}$$

1.3.4.1 Factores de relevancia dinámicos

Este concepto de **Factor de relevancia (FR)** será aplicado en conjunción con el algoritmo de selección de BCs, sin embargo ya que se ha definido un **Inventario** y el factor de relevancia va implícitamente asociado con el grafo dirigido, es conveniente definirlo ahora en términos de la longitud de una trayectoria del grafo dirigido.

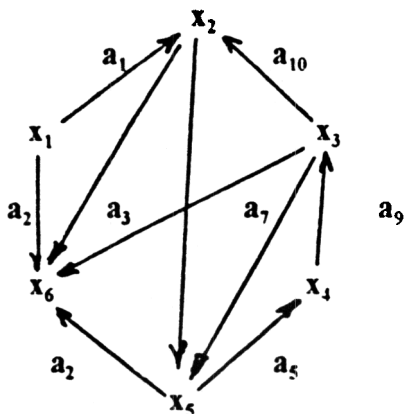
Un **Factor de relevancia**, como su nombre lo indica es un factor que determina dinámicamente de un conjunto de BCs cual de ellas es la más relevante para una consulta.

El **Factor de relevancia** se obtiene del enunciado fuente que el usuario usa para explicar su problema en una consulta con el SE.

Para calcular el **FR**, se utiliza la longitud de la trayectoria del grafo dirigido, al que se le ha llamado inventario, pero podría ser de otra manera, sin embargo, por el momento lo podemos definir así, teniendo por lo tanto un **Factor de relevancia dinámico**, ya que cuando se cambia de enunciado fuente se modifica el **FR**, esto será más evidente cuando se describa el algoritmo para seleccionar una BC con el enunciado fuente. Se debe mencionar que este es un tema de investigación que puede ser tratado con más profundidad.

Una trayectoria en un grafo dirigido es una secuencia de arcos donde el vértice final de uno, es el vértice inicial del siguiente.

Ejemplo, las secuencias de arcos dados corresponden a la figura.



$$a_6 \ a_8 \ a_9 \ a_8 \ a_4$$

$$a_1 \ a_6 \ a_5 \ a_9$$

$$a_1 \ a_6 \ a_5 \ a_9 \ a_{10} \ a_6 \ a_4$$

$$\begin{aligned} a_1 &= (x_1, x_2) & a_5 &= (x_5, x_4) \\ a_2 &= (x_1, x_6) & a_6 &= (x_2, x_5) \text{ etc.} \\ a_3 &= (x_2, x_6) & a_7 &= (x_3, x_6) \end{aligned}$$

(1)

son todas trayectorias

Los arcos $a=(x_i,x_j)$, $x_i \neq x_j$, que tienen un vértice terminal común son llamados adyacentes. También dos vértices x_i y x_j son llamados adyacentes si el arco (x_i,x_j) o el arco (x_j,x_i) o ambos existen en la gráfica.

Así en la figura los arcos a_1 , a_{10} , a_3 y a_6 son adyacentes y así son los vértices x_5 y x_3 o de otra manera los arcos a_1 y a_2 o los vértices x_1 y x_4 son no adyacentes.

Una trayectoria simple es una trayectoria que no usa el mismo arco más de una vez. Así las trayectorias del ejemplo (1), la tercera no es simple ya que usa el arco a_6 dos veces.

Una trayectoria elemental es una trayectoria que no usa el mismo vértice más de una vez. Así del mismo ejemplo (1), la segunda es elemental pero las otras no.

Obviamente una trayectoria elemental es también simple pero la inversa no es cierta. Del mismo ejemplo (1), la primera es simple pero no elemental, la segunda es simple y elemental y la tercera no es ni simple ni elemental.

1.3.4.2 Peso y longitud de una trayectoria

Un número c_{ij} puede algunas veces asociarse con un arco (x_i,x_j) . Estos números son llamados pesos, longitudes o costos y la gráfica es entonces llamada arcopesada. También un peso v_i puede algunas veces ser asociada con un vértice x_i y la gráfica resultante es entonces llamada vértice pesada, en ambos casos es pesada.

Considerando una trayectoria μ representada por la secuencia de arcos $(a_1, a_2, \dots a_q)$ la longitud o costo de la trayectoria $l(\mu)$ es tomada como la suma de los arcopesados sobre los arcos que aparecen en μ

$$l(\mu) = \sum c_{ij}, (x_i,x_j) \in \mu$$

Por lo tanto nuestro FR es definido como:

$$FR = l(\mu) \text{ para alguna } \mu$$

1.3.4.3 Gráficas parciales y subgráficas

Dado una gráfica $\Gamma=(X,A)$, una gráfica parcial Γ_p de Γ es la gráfica (X,A_p) con $A_p \subset A$. Así una gráfica parcial es una gráfica con el mismo número de vértices pero solamente con un subconjunto de los arcos de la gráfica original.

Dado una gráfica $\Gamma=(X,f)$ un subgrafo Γ_s es la gráfica (X_s,f_s) con $X_s \subset X$ y para cada $x_i \in X_s$, $f_s(x_i)=f(x_i) \cap X_s$.

Así una subgráfica tiene solamente un subconjunto X_s del conjunto de vértices de la gráfica original pero contiene todos los arcos cuyos vértices inicial y final están ambos dentro de este subconjunto.

Una alternativa para encontrar el FR dinámico es considerar la siguiente definición de conjunto de vértices dominantes.

Un conjunto S de vértices es dominante si $\Gamma=(X,f)$, $S \subset X$ es tal que $\forall x_j \notin S$, \exists un arco de un $x_k \in S$ a x_j esto es $\exists a=(x_k,x_j) \ni x_k \in S$ y $x_j \in X \Rightarrow S \cup f(S) = X$.

Como puede verse es posible encontrar diferentes formas para determinar un FR dinámico, lo cual puede quedar como un tema de investigación a futuro.

2. DIVISIÓN DE UNA BASE DE CONOCIMIENTO EN TEMAS

Con la finalidad de navegar en grandes BCs para la búsqueda de soluciones de problemas relativos al conocimiento almacenado en ellas, se tienen dos alternativas, la primera es dividir la BC global de todo el dominio y la segunda dividir el dominio de discurso y construir una BC por cada división. En cualquiera de los casos se trata de la BC asociada al dominio de discurso.

Primero supongamos que se divide el dominio de discurso y por cada división se construye una BC, entonces la BC global es la unión de todas las BCs de las divisiones. Una consulta a la BC global involucra una comunicación con algunas BCs de las divisiones. Segundo, este mismo hecho resulta, si una BC de todo el dominio de discurso se divide en fragmentos.

Tomemos el primer caso. Sea D un dominio de discurso y D_1, D_2, \dots, D_n divisiones del dominio D , tal que $\cup_{i=1}^n D_i = D$. Si G es la BC del dominio D y G_1 es la BC de D_1 , G_2 la BC de D_2 , etc, G_n la BC de D_n , entonces, decimos que $G = \cup_{i=1}^n G_i$, sin embargo se debe aclarar que la división de ambos D y G no son particiones, ya que hay o puede haber traslapes y por lo tanto se debe establecer, cuándo una división de G es una BC entonces, la siguiente definición se debe satisfacer .

Definición. Sea $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ un conjunto de problemas que se identifican de algunos eventos que ocurren en un dominio D . Si D , es un dominio de discurso y S , un espacio de soluciones para P en D . Decimos que G es una BC para P , si el conocimiento K de G obtenido de ese dominio D , es el mínimo conjunto de oraciones (reglas) o BC minimal con la cual se alcanza una solución de S para al menos alguna $P_j \in P$ $j=1,2,\dots,n$.

Desde este punto de vista no cualquier división de la BC global, podrá ser BC. Esto es, si G_j es una división de una BC G , y G_j contiene reglas r_1, r_2, \dots, r_q , y si m_1, m_2, \dots, m_k son metas (fin que se persigue o se desea alcanzar dentro de la BC) en la BC G , si alguna de las $m_i, i=1,k$, se encuentra en G_j , puede existir al menos una trayectoria (secuencia de reglas r_i hasta llegar a la meta) de las r_k con $k=1,q$, que alcanza la $m_i, i=1,k$ en G_j , en donde esas trayectorias que llevan a $m_i, i=1,k$, son soluciones de P , entonces decimos que G_j es una BC, caso contrario no lo es.

Puede ser que haya más de una trayectoria para llegar a $m_i, i=1,k$, es decir más de una solución, pero si el conjunto G_j contiene solamente una regla, entonces el conjunto de reglas es el mínimo y si con él, se alcanza una $m_i, i=1,k$, entonces G_j es una BC. Nótese que S es el conjunto de todas las trayectorias que se forman con las r 's y que alcanzan las m_k 's en $G = \cup_j G_j$ con $j=1,n$.

Se sabe que el objetivo principal en la construcción de una BC, es describir y reflejar las condiciones del mundo real. En efecto, la representación de cosas en el mundo real es una primera consideración en el diseño de la BC. En el proceso de diseño de la BC es

La propuesta es considerar que las BCs puedan ser estructuradas en partes genéricas. Las partes genéricas se componen de reglas que identifican una problemática de una parte del dominio de discurso, yo les he llamado *temas*, así los temas son relativos a cada una de las divisiones del dominio, debido a esto algunos elementos de los temas tendrán partes en común situados en más de una división, como si los temas estuvieran incrustados unos con otros o también en algunos casos se comportaran como estratos, a estas BCs se les llamó *BCs estratificadas en temas*. Así, la idea de una BC estratificada en temas es considerarla como una enciclopedia, en donde una consulta nos puede llevar a varios temas o subtemas. En la literatura no se menciona o se trata a una división de una BC con el nombre de tema. Algunos autores como Chandrasekaran [Chandrasekaran, 1984] utilizan el nombre de BC genérica. Es conveniente aclarar que un tema es una BC en sí, sobre todo si es obtenida de una división del dominio de discurso, pero un tema también se puede considerar como una sub-base de conocimiento cuando corresponde a una división de una BC global, el único requisito es que cumpla con la definición anterior.

2.1. Procedimiento para Dividir una Base de Conocimiento

Para explicar cómo se puede dividir una BC, considerémosla como un conjunto de proposiciones lógicas, y supongamos el caso particular en que estas proposiciones lógicas son cláusulas de Horn. Una cláusula se define como una disyunción de literales y una literal, consiste de una fórmula atómica, o de una fórmula atómica negada. A_1, \dots, A_m, B son fórmulas atómicas o simplemente átomos. Una cláusula de Horn [Kowalsky, 1984], es aquella que tiene cuando más una literal positiva (una literal positiva es una fórmula atómica no negada). Entonces, la BC o conjunto de oraciones contiene solamente proposiciones de la forma:

$$A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_m \rightarrow B \quad (1)$$

llamadas cláusulas de Horn, conocidas también como reglas o implicaciones [Chang, 1971] y serán denotadas por q_i . Por lo tanto q_i se compone de átomos antecedentes ($A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_m$) y un sólo consecuente (B).

Para dividir la BC se propone el siguiente procedimiento:

Sea G el conjunto de elementos como los de la forma (1), esto es:

$$G = \{ q_i \mid q_i \text{ es una cláusula de Horn} \} \quad \forall i \quad (2)$$

Construimos un conjunto G' en el que los elementos son listas constituidas de elementos de q_i (de G), es decir, fórmulas atómicas de q_i , esto es, la fórmula (1) se puede escribir como (A_1, A_2, \dots, A_m, B), así:

$$G' = \{ L_i \mid L_i = (A_1, A_2, \dots, A_m, B) \} \quad \forall i=1, n \quad (3)$$

Cada lista tiene una longitud denotada por long y la definimos como el número de átomos, la lista vacía la denotamos por $()$. Por lo tanto podemos formar un conjunto g con las longitudes de estas listas, esto es:

$$g = \{ k \mid k = \text{long}L_i \quad \forall i \text{ y } L_i \in G' \} \quad (4)$$

Podemos ordenar el conjunto G haciendo una clasificación (SORT) al conjunto g ya que los elementos de g son números enteros positivos o cero. Aunque resulta simple este proceso, debemos hacer un seguimiento de las reglas q_i ya que al hacer la clasificación (SORT) el

orden original que tenían en el conjunto G se pierde, por lo tanto se puede usar un apuntador para cada lista; esto se requiere para conocer el orden de las cláusulas, en relación al número de átomos en cada q_i . Como quiera que sea el ordenar g nos induce un orden en G' . Las listas de G' , son ordenadas en orden decreciente, y las depositamos en un conjunto G'' . Así la primera lista de G'' contiene el mayor número de átomos de alguna cláusula q_i de G . Las listas doblemente ligadas son adecuadas para identificar cada una de las reglas con su longitud y su orden.

En el siguiente procedimiento el conjunto $S_{1,k}$ sirve para guardar las listas que tienen elementos en común, y $S_{2,k}$ para aquellas que no tienen, el primer índice sólo indica la clase de conjunto y el segundo el número de esa clase. Esto es, el conjunto con índice uno contiene elementos en común y conjunto con índice dos no contiene elementos en común. Los elementos en común son átomos que se encuentran en dos o más listas.

El proceso se inicia en la siguiente forma: se toma una lista de G'' y se pone en el conjunto $S_{1,k}$ y se compara con otra de G'' y si no hay elementos en común se guarda esa lista en $S_{2,k}$, este proceso se sigue hasta que se agotan las listas y se repite ahora con el nuevo conjunto de listas de $S_{2,k}$ como si fuera G'' , y termina hasta que $S_{2,k+1} = \emptyset$

Aplicando este procedimiento al conjunto G'' se tiene: para la primera lista de G'' , digamos L_1 , formamos un conjunto $S_{1,0}$ con L_1 , esto es: $S_{1,0} = \{L_1\}$. Comparamos L_1 con L_2 , la siguiente de L_1 , sabemos que L_1 es mayor que L_2 en número de átomos. Si la intersección de L_1 con L_2 es vacía, formamos un nuevo conjunto $S_{2,0}$ con L_2 , esto es: $S_{2,0} = \{L_2\}$; pero si no es vacía, interseccionamos el resultado de la intersección de L_1 y L_2 con todos los elementos de G'' cuyas listas sean átomos antecedentes de q_i para alguna i y todas las listas que hayan dado intersección no vacía se ponen en $S_{1,0}$ y todas aquellas listas que tengan el último átomo común con el resultado de la intersección mencionada, se ponen en $S_{2,0}$. Ahora tomamos de los elementos restantes de G'' , el primero lo interseccionamos con todos los de $S_{1,0}$. Si la intersección de cada uno de ellos es vacía las listas las ponemos en $S_{2,0}$, en caso contrario las dejamos en $S_{1,0}$. Este proceso se sigue hasta que se agotan los elementos de G'' . Sin embargo, si $S_{2,0}$ no es vacío el proceso se repite ahora con el conjunto $S_{2,0}$ como si fuera el G'' , excepto que ahora los conjuntos que se tratarían serían $S_{1,1}$ y $S_{2,1}$ y si para el caso se agotan los elementos de $S_{2,0}$ (la nueva G'') se verifica si $S_{2,1}$ es vacío, si lo es, se termina el proceso y se obtienen los conjuntos $S_{1,0}$ y $S_{1,1}$ separados del original G'' , pero si $S_{2,1}$ no es vacío, dará lugar a dos nuevos conjuntos el $S_{1,2}$ y $S_{2,2}$ etc..

Los conjuntos $S_{1,0}$, $S_{1,1}$, $S_{1,2}$, etc., se consideran separados de G'' , como un conjunto de listas con elementos en común, correspondientes a las cláusulas del conjunto G . Nótese que el conjunto $S_{2,0}$ y todos los de índice dos son ordenados. De este proceso se obtienen conjuntos de la forma:

$$G'' = \{ S_{1,k} \mid S_{1,k} \neq \emptyset, S_{2,k+1} = \emptyset \text{ y } \cup S_{1,k} = G'' \text{ para } k = 1, 2, \dots \}$$

El conjunto G''' es el conjunto de conjuntos de listas clasificadas. Ahora para asociar a cada $S_{1,k}$ un conjunto G_k tal que G_k está contenido en G , se coleccionan todos los apuntadores de las listas de cada $S_{1,k}$ y se forma un conjunto G_k con el contenido de los apuntadores que son algunas de las reglas de G .

2.1.1 Ejemplo: división de una base de conocimientos.

El proceso anteriormente descrito se ejemplifica con un conjunto de reglas dado en la tabla 2.1. Esto es: tomamos la primera lista de G'' , $L_1 = (B D E F)$ y formamos el conjunto $S_{1,0} = \{L_1\}$, intersectamos L_1 con la siguiente lista, la que le sigue a L_1 , que es $L_2 = (D G A)$ también de G'' . Si la intersección es vacía, formamos un nuevo conjunto $S_{2,0}$ con esta lista, la L_2 . En el caso de que $L_1 \cap L_2 = (D) \neq \emptyset$, se intersecta cada lista de G'' excepto con L_1 . La intersección del resultado de $L_1 \cap L_2$ se hace con los antecedentes de todas las listas de G'' , si la intersección fue diferente del vacío, las listas con esa propiedad se colocan en $S_{1,0}$, de esto resulta, $S_{1,0} = \{L_1, L_2, L_{10}, L_4, L_{12}, L_9\}$, son listas cuyos átomos antecedentes se intersectaron con el resultado de la intersección de las primeras dos listas de G'' , y las listas de G'' que se intersectaron con átomos consecuentes y que fueron distintas del vacío, se colocan en $S_{2,0}$, resultando el conjunto $S_{2,0} = \{L_6, L_{11}, L_3, L_5, L_7, L_8\}$. Para la siguiente comparación, se toma la primera lista de las que restan en G'' y se compara con cada una las de $S_{1,0}$ y se se sigue el mismo procedimiento como antes, hasta que se agotan todos los elementos del conjunto G'' , si $S_{2,0}$ es distinto del vacío, éste se convierte en G'' y se aplica el mismo procedimiento. El proceso termina cuando el conjunto $S_{2,k+1}$ para $k=3$ es vacío.

El resultado final de la división de la BC del ejemplo es:

$$S_{1,0} = \{L_1, L_2, L_4, L_9, L_{10}, L_{12}\}$$

$$S_{1,1} = \{L_6, L_5\}$$

$$S_{1,2} = \{L_3, L_{11}\}$$

$$S_{1,3} = \{L_7, L_8\}$$

La división de G resulta ser $G = \{G_1, G_2, G_3, G_4\}$, en donde

$$G_1 = \{B \wedge D \wedge E \rightarrow F, D \wedge G \rightarrow A, A \wedge X \rightarrow H, B \rightarrow X, B \rightarrow E, A \rightarrow Q\}$$

$$G_2 = \{X \wedge B \rightarrow D, X \wedge C \rightarrow A\}$$

$$G_3 = \{C \wedge F \rightarrow A, C \rightarrow D\}$$

$$G_4 = \{K \wedge S \rightarrow Z, P \wedge Q \rightarrow K\}$$

Con esto concluye la división de la BC G del ejemplo.

Tabla 2.1 División de una Base de conocimientos

Indice	Conjunto G	Listas	Longitud	Orden	Conjunto G''
1	$B \wedge D \wedge E \rightarrow F$	(B D E F)	4	2	(B D E F)
2	$D \wedge G \rightarrow A$	(D G A)	3	3	(D G A)
3	$C \wedge F \rightarrow A$	(C F A)	3	6	(C F A)
4	$B \rightarrow X$	(B X)	2	5	(A X H)
5	$D \rightarrow E$	(D E)	2	7	(X C A)
6	$A \wedge X \rightarrow H$	(A X H)	3	8	(X B D)
7	$C \rightarrow D$	(C D)	2	12	(K S Z)
8	$X \wedge C \rightarrow A$	(X C A)	3	9	(P Q K)
9	$X \wedge B \rightarrow D$	(X B D)	3	10	(B X)
10	$K \wedge S \rightarrow Z$	(K S Z)	3	11	(D E)
11	$P \wedge Q \rightarrow K$	(P Q K)	3	4	(C D)
12	$A \rightarrow Q$	(R Q)	2	13	(A Q)
13	$\rightarrow H$	(H)	1	14	(H)
14	$\rightarrow Z$	(Z)	1	15	(Z)
15	$B \rightarrow$	(B)	1	16	(B)
16	$C \rightarrow$	(C)	1	17	(C)
17	$S \rightarrow$	(S)	1	18	(S)
18	$P \rightarrow$	(P)	1	FIN	(P)

Ejemplo del algoritmo para dividir una base de conocimiento usando listas doblemente ligadas. Por eso el algoritmo del SORT se inicia en el índice 1.

2.2 Las metas de la BC después de su división.

Una vez dividida la BC, se tienen varias preguntas, la primera aunque de alguna manera se ha dicho, es: ¿para qué se dividió la BC? y suponiendo que fue para obtener una mejor y más eficiente búsqueda de solución, ahora ¿cómo decidimos qué fragmento de la BC será candidato para la consulta?. La respuesta a esta pregunta se resuelve con un algoritmo de selección que será explicado en el capítulo tres. También se puede preguntar ¿qué pasa cuando se tiene una BC global G y un conjunto $M = \{m_1, m_2, \dots, m_k\}$ de metas en G factibles de determinar?, ¿cómo se comportan dichas metas cuando la BC G se divide en algún número de fragmentos?. La respuesta a esta pregunta se puede resolver en dos partes:

Primera parte, supongamos que después de la división de la BC, las m_i 's (átomos de ciertas q_i) quedaron dispersos dentro de los fragmentos G_j para $j=1, n$ y que cada G_j puede o tener algunas m_i 's por determinar, es decir habrá fragmentos que tengan más de una m_i o ninguna. Entonces, es necesario establecer un protocolo de comunicación entre fragmentos

o BCs, para solicitar información entre ellos y un área de trabajo común para todos los fragmentos o BCs. En esta área común se encuentran los hechos de la BC global o en el caso de contar con fragmentos o diferentes de BCs, los hechos de todas las BCs estarán el área común.

Segunda parte, es posible preguntar si una conclusión en la BC global es la misma que la conclusión que se obtenga en alguno de los fragmentos? y la respuesta es afirmativa, primero porque solamente se han manejado símbolos y no han cambiado durante el proceso de división, por otro lado no han sido modificadas las metas en los fragmentos y por último, si una meta m esta contenida en un fragmento G_j de una BC G , y como $G = \cup G_j$ con $j = 1, n$, entonces m se alcanza en G . Ahora bien si $m \in G = \cup G_j$ $j = 1, n$, $G_j \subset G$, entonces existe al menos una $G_j \subset G$ con $j=1, n$, tal que $m \in G_j$ para alguna j . Supongamos que $m \notin G_j$ para $j=1, k$ entonces, m se encontrará en G_j para $j= k+1$ de otra manera estará en G_j para $j=k+2$ etcétera. Nótese que el numero de metas es constante. El caso trivial es en el que $m \in \cup G_j$, esto implica que $m \in G_j$ para alguna j .

2.3 Base de conocimiento estratificada en temas

En esta sección se dan los elementos básicos para la comunicación de BC, principalmente se identifican los componentes que pueden cooperar en la comunicación.

Las palabras clave son un medio importante para el manejo de la comunicación entre dos BCs, una vez dividido el conjunto G en subconjuntos G_k . Con las palabras clave se identifica si hay información en común. También es posible hablar de comunicación por medio palabras clave que se encuentran dentro de los átomos de las reglas q_i involucrados en las diferentes BCs o fragmentos.

La comunicación de los conjuntos G_j se puede establecer en dos formas: la primera es que el experto considere la comunicación en forma arbitraria, o bien, como ya se ha comentado, identificando hechos o átomos de reglas de una BC que se encuentren en otra u otras BCs; y la segunda es aplicar algoritmos de división a BCs.

Se debe insistir que el procedimiento anterior para dividir una BC no es único y puede haber formas más eficientes en el tratamiento o fabricación de BCs con pocos elementos.

La razón principal de tratar el problema de la división de BCs se centra en la solución de algunos problemas que requieren de dos o más áreas de conocimiento y que aparentemente son ajenas. Sin embargo, existe en gran medida información tanto de una área como de la otra necesaria para decidir ciertos casos o elucidar soluciones del problema en cuestión. Nuestro propósito es determinar cómo, dados dos conjuntos de conocimiento G_1 y G_2 , se puede identificar la información común entre ambos. Para lograrlo se debe saber qué reglas o información precisamente se encuentra en la frontera de ellas G_1 y G_2 , así, si por ejemplo

se tiene G_1 y se conoce qué información intencional (aquella que puede ser obtenida después de la aplicación de una regla general) o explícita a través de la reglas en G_1 , ofrece información o conocimiento que se encuentra en G_2 , entonces decimos que el conocimiento de G_1 se extiende al conocimiento del conjunto G_2 , o viceversa, lo cual reviste importancia. Al final de esta sección se puede ver cómo determinar la dependencia de un conjunto con otro a través de estas reglas.

Para resolver el problema de la información compartida, pensamos que existe un conjunto finito de reglas que contienen la información de ambos G_1 y G_2 . Nos preguntamos: ¿Cómo podemos encontrar dicho conjunto?. Una alternativa es determinar cláusulas de G_1 de la forma $A \rightarrow B$, y cláusulas de G_2 de la forma $B \rightarrow C$, en donde B es común en ambos conjuntos G_1 y G_2 , sin embargo puede suceder que haya información compartida o se considere compartida cuando los átomos contienen palabras clave a pesar de no ser los mismos átomos, por ejemplo los siguientes dos átomos tienen la misma palabra clave, digamos "intestinal", "el paciente sufre de infección intestinal" y "el paciente fue intervenido de una región intestinal".

Sean G_1 y G_2 conjuntos de cláusulas de Horn, una estrategia para atacar el problema podría ser: que se coleccionen todos los antecedentes de los elementos de G_1 y se coloquen en un conjunto Q_1 y todos los consecuentes de G_2 en un conjunto Q_2 , que se verifique si la intersección de Q_1 y Q_2 es vacía, si no lo es, entonces, se tiene información compartida entre G_1 y G_2 , de otra manera son independientes.

No se garantiza la dependencia total de G_1 y G_2 a través de las reglas con las características citadas. Además se deben tomar en cuenta las reglas generales que pueden estar en G_1 o G_2 y que hasta después de instanciarse, se sabe si se generó información para alguno de los conjuntos G_1 o G_2 .

La información compartida dentro de este marco de referencia nos hace pensar que se encuentra *incrustada* en una BC contenida en otra y viceversa a este concepto le he llamado *rozamiento*, o sea el conjunto de reglas que comparten información de los dos conjuntos G_1 y G_2 (o más, en el caso de que haya otras BCs). Y se define en la siguiente sección. Nótese que el conjunto rozamiento no es la intersección de las BCs.

La BC estratificada en temas es una BC que consta de temas con la característica de que una o varias reglas están incrustadas en dos o más temas, pero esta reglas no están totalmente contenidas, sino solamente una parte, es decir, o un átomo consecuente o varios antecedentes se encuentran compartiendo dos BCs. Aquí se dice sólo de un consecuente por que se trata de cláusulas de Horn.

Una BC se compone de temas que pueden o no tener rozamiento. Para ver más claro este concepto usaremos un ejemplo de dos conjuntos de reglas que forman una BC estratificada en temas.

Los conjuntos del siguiente ejemplo tratan del diagnóstico de enfermedades de las vías respiratorias y padecimientos de circulación de la sangre, y que permiten ejemplificar, como dos BCs pueden tener un punto de contacto, al que se le llamó rozamiento.

TEMA UNO

- r_1 : IF el paciente presenta úlceras en los dedos de los pies
THEN el paciente sufre de trastornos sanguíneos.
- r_2 : IF el paciente presenta infección o úlceras en la piel
THEN el paciente sufre de trastornos sanguíneos.
- r_3 : IF el paciente presenta cicatrización lenta en úlceras
THEN el paciente sufre de trastornos sanguíneos.
- r_4 : IF el paciente presenta endurmecimiento en las extremidades inferiores AND
el paciente presenta disminución o falta de pulso.
THEN el paciente sufre de trastornos sanguíneos.
- r_5 : IF el paciente presenta engrosamiento y deformación en las uñas AND
el paciente presenta uñas quebradizas
THEN el paciente sufre de trastornos sanguíneos.
- r_6 : IF el paciente sufre de trastornos sanguíneos
THEN el paciente padece de isquemia.
- r_7 : IF el paciente sufre de isquemia AND el paciente presenta dolor en el pecho

THEN el paciente padece complicaciones de insuficiencia cardíaca.

TEMA DOS

- q_1 : IF el paciente sufre de trastornos respiratorios
THEN el paciente sufre de sinusitis.
- q_2 : IF el paciente presenta mucosidad en las membranas AND el paciente le duelen las
amígdalas AND el paciente tiene palpitaciones en módulos linfáticos cervicales
THEN el paciente sufre de trastornos respiratorios.

q₃: IF el paciente presenta propagación de infección en vías nasales AND el paciente tiene inflamación en los senos nasales AND el paciente presenta tensiones emocionales AND el paciente presenta fatiga continua THEN el paciente sufre de trastornos emocionales.

q₄: IF el paciente presenta resfriados comunes AND el paciente tiene mucosa que reviste las fosas nasales AND el paciente tiene infección respiratoria THEN el paciente sufre de trastornos respiratorios.

q₅: IF el paciente tiene complicaciones de vías respiratorias superiores AND

el paciente padece complicaciones de insuficiencia cardíaca

AND el paciente padece complicaciones de insuficiencia cardíaca AND el paciente tiene complicaciones de bradicardia AND el paciente tiene complicaciones de hipotensión AND el paciente tiene insuficiencia respiratoria AND el paciente tiene sinusitis AND el paciente tiene absceso periamigdalino AND el paciente tiene retrofaringeo THEN el paciente padece de neumonía.

q₆: IF el paciente presenta mal de garganta AND el paciente presenta miocarditis AND el paciente presenta dolor precordial AND el paciente presenta pericarditis AND

el paciente presenta taquicardia

THEN el paciente padece de fiebre reumática.

q₇: IF el paciente padece de insuficiencia respiratoria AND el paciente padece de sinusitis AND el paciente tiene tos frecuente con secreciones AND el paciente tiene tiros supraesternales AND el paciente tiene tiros supraclaviculares AND el paciente tiene silbilancias

THEN el paciente padece de asma bronquial.

El rozamiento en este ejemplo contiene un sólo elemento la r7. La regla q6 tiene conexión con el tema de enfermedades del corazón. Estas reglas nos ilustran que hay elementos que nos permitan establecer una comunicación entre BCs.

Lo interesante del concepto de rozamiento es que se pueden tratar conjuntos de conocimientos muy afines. La idea es diagnosticar correctamente aquellos padecimientos que por sus síntomas tan parecidos conducen a temas erróneos o con certidumbre muy baja en el diagnóstico.

La ventaja del rozamiento es que nos permite extender el conocimiento a otras BCs principalmente aquellas de la misma área o que son muy afines. Por ejemplo, enfermedades del corazón y del pulmón, también favorece la comunicación de BCs con procesos.

2.4. Rozamiento entre bases de conocimiento

En el tratamiento de información compartida es de interés saber cuando dos BCs contienen elementos en común, y cómo identificarlos. La siguiente definición establece que un conjunto de reglas en el que los antecedentes o consecuentes de las reglas del conjunto se encuentran en dos o más BCs se le ha llamado rozamiento. Se debe notar que si las BCs están estructuradas en reglas de inferencia, se pueden encontrar reglas con variables que se sustituyen con datos del usuario en el momento de aplicar la regla, y por eso se dice en la definición, que puede haber variables de reglas que pueden ser evaluadas en una base dando como resultado información común en ambas bases.

Definición. Decimos que hay un rozamiento entre G_1 y G_2 BCs, siempre que las variables de algunas de las reglas en G_1 sean evaluadas, resulten algunas variables de las reglas en G_2 evaluadas y que como resultado de esto se obtengan hechos en común en ambas BCs. O También algunos hechos de G_1 son relativos a algunos objetos referidos de G_1 en G_2 .

La definición anterior se puede visualizar mejor si consideramos dos bases G_1 y G_2 estructuradas en reglas de inferencia. Sean Q_1 y Q_2 conjuntos definidos como sigue: $Q_1 = \{ c_i \mid c_i \text{ consecuente de } q_j \in G_1 \}$ es el conjunto de consecuentes de reglas en G_1 y $Q_2 = \{ a_i \mid a_i \text{ antecedente de } q_j \in G_2 \}$ es el conjunto de antecedentes de reglas en G_2 , entonces, el rozamiento ρ está definido como:

$$\rho = \{ q_j \mid A_i \in q_i \text{ y } A_i \in (Q_1 \cap Q_2) \}$$

Con la definición anterior se puede determinar el grado de rozamiento entre dos o más bases de conocimiento. Esto es, sean G_1 y G_2 como antes, entonces el grado de rozamiento ρ° es dado por la cardinalidad (CARD) de ρ , es decir, es el conjunto de reglas con la propiedad de rozamiento:

$$\rho^\circ = \text{CARD}(\rho).$$

Desde el punto de vista de ρ , dos bases de conocimiento (temas) G_1 y G_2 son dependientes, si existe un grado de rozamiento distinto de cero, en caso contrario son independientes.

Cuando se presentan reglas de carácter general como la siguiente, es difícil determinar el rozamiento, sin embargo se puede solucionar como se ilustra.

IF la fruta es una X & el color de la piel de la X es Y & el origen (X, Y) es Z .
THEN el origen de la fruta es Z ,

se debe considerar la base de datos con la cual ésta regla trabajará. Por lo tanto, para clasificar una de estas cláusulas es requisito indispensable saber cuál es su base de datos. Así, la clasificación de las reglas generarán conjuntos como los $S_{1,k}$ anteriormente dados. Entonces siempre que haya reglas generales en el conjunto G se deben identificar las bases de datos relativas a esas reglas generales, para clasificarlas poniéndolas en algún conjunto $S_{1,k}$ como se vió anteriormente. Para ilustrar el caso de las reglas generales, considere el siguiente ejemplo:

Sean nuevamente los conjuntos G_1 y G_2 y considérense las siguientes reglas

Regla 1

IF la fruta es una naranja **AND** el color de la piel de la naranja es rojiza.
THEN el origen de la fruta es Michoacán.

Regla 2

IF la fruta es un mango **AND** el color de la piel del mango es amarillo verdoso.
THEN el origen de la fruta es Cuernavaca.

Regla 3

IF la fruta es un melón **AND** el color de la piel del melón es verde.
THEN el origen de la fruta es Sinaloa.

La intención de escribir estas reglas, es con el fin de explicar la clasificación de una regla general.

Regla general

De la compactación de las tres reglas anteriores obtenemos la regla general:

IF la fruta es una X & el color de piel de la X es Y & el origen (X, Y) es Z .
THEN el origen de la fruta es Z .

Para que una regla general como la anterior se pueda aplicar, se requieren de datos como los que se muestran en seguida:

el origen (naranja, rojiza) es Michoacán.
 el origen (mango, amarillo verdoso) Cuernavaca.
 el origen (melón, verde) Sinaloa.

En cualquiera de las dos formas que se encuentre las reglas en G_1 (o G_2), es decir en forma explícita o en forma general, el problema está resuelto usando el procedimiento para la división de la BC que se ilustró, únicamente hay que tomar en cuenta los datos de la regla general.

Iniciamos la discusión suponiendo que los átomos para la regla general son:

A1 : la fruta es una naranja

A2 : el color de la piel de la naranja es rojiza

A3 : el origen de la fruta es Michoacán

Regla 1 \implies (A1 A2 A3) elemento de G'

A4 : la fruta es un mango

A5 : el color de la piel del mango es amarillo verdoso

A6 : el origen de la fruta es Cuernavaca

Regla 2 \implies (A4 A5 A6) elemento de G'

A7 : la fruta es un melón

A8 : el color de la piel del melón es verde

A9 : el origen de la fruta es Sinaloa

Regla 3 \implies (A7 A8 A9) elemento de G'

Los átomos en la regla general son:

A : la fruta es una X

B : el color de la piel de X es Y

C : el origen (X, Y) es Z

D : el origen de la fruta es Z

Regla g \implies (A B C D) elemento de G'

Además de la regla g hay que tomar en cuenta los siguientes átomos:

E : el origen (naranja, rojiza) es Michoacán.

F : el origen (mango, amarillo verdoso) Cuernavaca.

G : el origen (melón, verde) Sinaloa.

que son los hechos o datos ligados a la regla general g.

En la aplicación del procedimiento a esta clase de reglas generales se toman sus átomos y se empatan con sus datos, si se alcanza el patrón general, excepto por constantes simbólicas, se usan los átomos de los datos (en nuestro ejemplo $E F G$) en lugar de la regla para la clasificación, una vez encontrado este patrón se substituye la regla junto con todo y sus datos en el lugar que le corresponda en S_{ik} . De esta manera se pueden clasificar reglas de tipo general.

Hemos dicho que se trata de una regla general, en el sentido de que la estructura de la regla está definida en términos de variables. En nuestro ejemplo, se ve que el único patrón excepto por constantes es: "el origen (X,Y) es Z ". Su correspondiente empate con uno de los datos es: "el origen (naranja, rojiza) es Michoacán" o cualquiera de los otros datos nos sirven para saber la ubicación de la regla general. En el caso de que una regla general no tenga sus datos no será clasificada.

La discusión anterior se puede continuar con respecto al concepto de rozamiento. El rozamiento nos permite establecer un medio de comunicación o dependencia de información entre dos BCs. La dependencia o independencia también puede ser vista tratando a los elementos del conjunto rozamiento como restricciones en una base de datos. Por esta razón en la siguiente sección se muestra una manera de ver la dependencia entre las BC y se verifica usando el algoritmo de resolución unitaria de Chang, C. L. [Chang, 1976] viendo que esta dependencia se obtiene de un conjunto de reglas T las que se pueden tratar como consecuencias lógicas de G_1 a G_2 y viceversa. De la unión de los conjuntos $Q = \{q_i \mid c_j$ es un consecuente de reglas en $G_1\}$ y $R = \{q_i \mid a_j$ es un antecedente de reglas en $G_2\}$, encontramos un conjunto T que consiste de todas las reglas señaladas por los elementos de $Q \cup R$.

2.5 Dependencia de las bases de conocimiento

La dependencia de las BCs será considerada cuando el conjunto $q \neq \emptyset$, pero dicha dependencia requiere de las ideas y conceptos de dependencia funcional de bases de datos, aún cuando esto se usará solamente para la aplicación del teorema de equivalencia, que dice: "Si F es un conjunto de dependencias funcionales, entonces existe un conjunto equivalente de proposiciones lógicas G , tal que si f es una simple dependencia y q es una simple proposición lógica; entonces f es una dependencia de F si y sólo si q es una consecuencia lógica de G ".

Para ilustrar el comportamiento de la dependencia de las bases cuando hay información compartida, se usará un ejemplo de dos conjuntos de reglas, y con ellos se aplicará el algoritmo de Chang [Chang, 1976], para hacer resolución unitaria, se mostrará que existe o no dependencia funcional, es decir que tanto un conjunto de reglas depende de otro a través de una o varias reglas. Sean los conjuntos G_1 y G_2 como se muestran:

Tabla 2.2 Bases de conocimiento con elementos en común

Conjunto G_1	Conjunto G_2
$R_1 : A_1 \wedge A_2 \rightarrow A_3$ $R_2 : A_2 \rightarrow B_1$ $R_3 : A_3 \wedge B_1 \rightarrow C_1$	$R_1 : B_1 \rightarrow D_1$ $R_2 : D_1 \wedge B_1 \rightarrow D_2$ $R_3 : D_2 \wedge D_3 \rightarrow D_4$

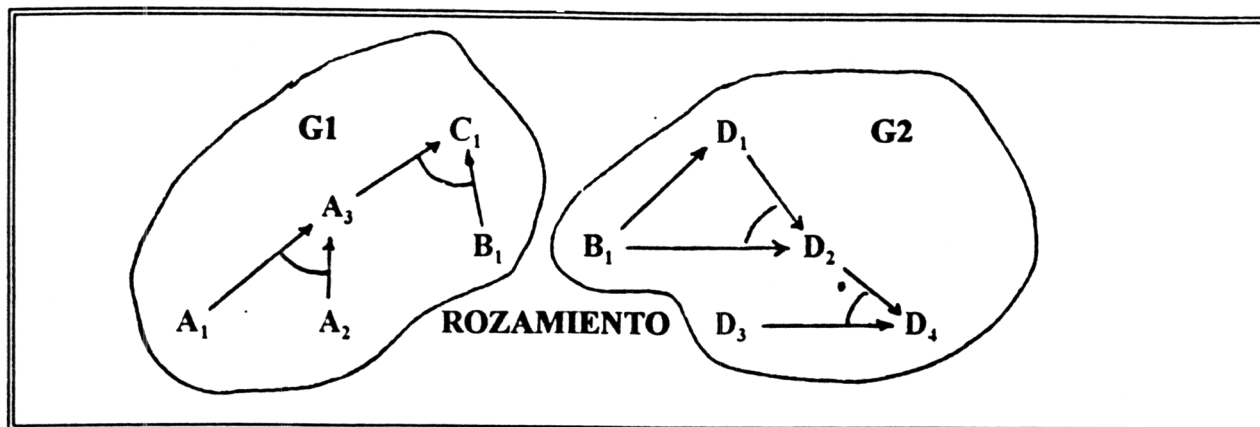


Figura 2.1 Bases de conocimiento con rozamiento

Como ya se había mencionado contaremos con comunicación entre dos bases G_1 y G_2 si los conjuntos $(Q_2 \cap Q_3)$ y $(Q_1 \cap Q_4)$ son diferentes del vacío. De nuestro ejemplo encontramos que:

Tabla 2.3 Identificación del rozamiento en Bases de Conocimiento

Base de Conocimiento G_1		Base de Conocimiento G_2	
{Antecedentes \rightarrow Consecuentes}		{Antecedentes \rightarrow Consecuentes}	
Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
$Q = Q_2 \cap Q_3$		$R = Q_1 \cap Q_4$	

Si la intersección de Q_2 y Q_3 es distinta del vacío, entonces, se dice que hay comunicación de G_1 a G_2 y si la intersección de Q_1 con Q_4 es distinta del vacío, entonces se dice que la comunicación es de G_2 hacia G_1 . Una explicación sobre la comunicación directa o inversa que se menciona se da en el capítulo cinco.

Es interesante conocer la respuesta a la pregunta: ¿Qué tanto depende una base de conocimiento de otra respecto de sus reglas?, en nuestro ejemplo ¿Qué tanto G_1 depende de G_2 a través de la regla R_2 ?

En otras palabras, preguntamos si la regla R_2 es una consecuencia lógica de G_2 , (R_2 es una regla en G_1), así podremos decir que G_2 depende funcionalmente de G_1 a través de R_2 . Este concepto involucra dependencias funcionales de bases de datos.

Concretamente preguntamos si $A_2 \rightarrow D_1$ es una consecuencia lógica del conjunto $T = \{\text{reglas! apuntadas por elementos de } R \cup Q\}$, diremos entonces que G_2 depende funcionalmente de G_1 a través de R_2 .

El concepto de dependencias funcionales [Armostrong, 1974], es uno de los pocos en bases de datos que intuitivamente es simple y suficientemente complejo en un desarrollo avanzado. Las dependencias funcionales son herramientas importantes en el diseño de bases de datos. Se puede mostrar que las dependencias funcionales [Sagiv, 1982], se comportan precisamente como ciertos subconjuntos de la lógica proposicional. En particular, es posible tomar ventaja de la investigación de Inteligencia Artificial, en el área de prueba de teoremas, para convertir directamente resultados en esa área en resultados acerca de dependencias funcionales.

En este documento no se hace un estudio de dependencias funcionales y sus propiedades, simplemente, usamos algunos resultados que sirven para comprobar que al dividir una BC podemos garantizar la extensión del conocimiento cuando el rozamiento es diferente del vacío.

Nuestro acercamiento a la comunicación o dependencia de los conjuntos G_1 y G_2 será mantener una cláusula o un conjunto de cláusulas y entonces derivar propiedades de la colección de todos los elementos de G_1 ó G_2 según sea el caso para las cuales la cláusula dada es válida.

Supongamos que P es un esquema de relación en bases de datos y cada columna de P tiene un nombre único. Si $A_1, A_2, \dots, A_m, B_1, B_2, \dots, B_r$ son los nombres de columnas, decimos que A_1, A_2, \dots, A_m determinan B_1, B_2, \dots, B_r o que B_1, B_2, \dots, B_r depende de A_1, A_2, \dots, A_m , esto ocurre siempre que dos tuples (dos filas) de P coinciden en columnas A_1, A_2, \dots, A_m , entonces ellas también coinciden en columnas de B_1, B_2, \dots, B_r , (dos tuples concuerdan en una columna si sus elementos bajo la columna son los mismos). A cada situación de la forma anterior le llamaremos una dependencia funcional y la denotamos por:

$$A_1, A_2, \dots, A_m \Rightarrow B_1, B_2, \dots, B_r$$

Con cada nombre de columna A asociamos una variable proposicional A distinta. Con cada dependencia $A_1, A_2, \dots, A_m \Rightarrow B_1, B_2, \dots, B_r$ asociamos una proposición lógica $A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_m \rightarrow B_1 \wedge B_2 \wedge \dots \wedge B_r$, que llamaremos simplemente implicación. Es claro que la correspondencia es uno a uno y sobre, así, cada implicación tiene asociada una dependencia. Nótese que \Rightarrow se usa para indicar una dependencia funcional y \rightarrow para una implicación lógica.

De lo anterior se puede decir que si F es un conjunto de dependencias funcionales, entonces existe un conjunto equivalente de proposiciones lógicas G , tal que si f es una simple dependencia y q es una simple proposición lógica; entonces f es una dependencia de F si y sólo si q es una consecuencia lógica de G . Esto en realidad es el Teorema de Equivalencia [Fagin, 1982a y 1982b], [Sagiv, 1981], sin embargo, para el propósito solamente se tratará con el conjunto G y se supondrá que está constituido de cláusulas de Horn.

Para saber si G_1 y G_2 dependen funcionalmente a través de una o un conjunto de reglas se usa el algoritmo llamado Resolución de Literal Unitaria, debido a Chang [Chang, 1976].

Sean Q y R ($Q = Q_2 \cap Q_3$ y $R = Q_1 \cap Q_4$) y $T = \{ \text{reglas } \}$ apuntadas por elementos de $Q \cup R$. Al conjunto T más adelante se le estructura como una "tabla de comunicación". Veremos que la estructura de esta tabla fungirá como un protocolo de comunicación.

Con las cláusulas obtenidas por Q (o R) y todas las cláusulas cuyos consecuentes de cláusulas apuntadas por los elementos de Q (o R) se encuentran en antecedentes de cláusulas en G_2 (o G_1), se construye un conjunto W_1 que es un subconjunto del conjunto T . Sea W un conjunto de cadenas de símbolos y cada cadena contiene tres tipos de símbolos: nombres de átomos, símbolos negativos (\sim) y comas ($,$). Para cada proposición de la forma $A_1, A_2, \dots, A_m \rightarrow B$ en W_1 se incluye una cadena en W de la forma $\sim A_1, \sim A_2, \dots, \sim A_m, B$. Si R_j en W_2 es una implicación de la forma $B_1, B_2, \dots, B_k \rightarrow C$ entonces se incluye $k + 1$ cadenas $B_1, B_2, \dots, B_k, \sim C$ en W . El conjunto W_2 se constituye de cláusulas cuyos antecedentes corresponden a cláusulas apuntadas por elementos de Q (o R) y todos los consecuentes de cláusulas en G_2 (o G_1) donde se involucren los consecuentes de cláusulas apuntadas por elementos de Q (o R) dentro de los antecedentes en cláusulas de G_2 (o G_1).

El algoritmo procede buscando átomos X tal que: a) X es una cadena de W y b) hay una cadena en W que inicia con $\sim X$ (si hay varias cadenas que cumplen a) y b), el algoritmo toma la primera que encuentre). Si se satisfacen las dos condiciones, el algoritmo procede cortando las cadenas que inician con $\sim X$, borrando el signo (\sim), la X y la coma (si hay coma). El algoritmo termina si: 1) se genera la cadena vacía (λ) o 2), cuando no hay un átomo X que satisfaga las dos condiciones a) y b). Si 1) ocurre primero, es decir si se genera la cadena vacía, entonces R_j es una consecuencia lógica de W_1 y si 2) ocurre primero, entonces R_j no es una consecuencia de W_1 .

Esto es, de nuestro ejemplo sabemos que $Q = \{B_1\}$, $R = \phi$ y que (la regla) R_2 es la cláusula de G_1 cuyo consecuente es el elemento de Q es decir, $R_2: A_2 \rightarrow B_1$. El conjunto $W_1 = \{A_2 \rightarrow B_1, B_1 \rightarrow D_1, D_1 \wedge B_1 \rightarrow D_2\}$ y el conjunto $W_2 = \{A_2 \rightarrow D_1, A_2 \rightarrow D_2\}$. Ya que R_1 y R_2 de G_2 son las cláusulas cuyos antecedentes tienen B_1 , así $\sim B_1, D_1$ y $\sim D_1, \sim B_1, D_2$ son cadenas que incluimos en W . Ahora se quiere ver si la cláusulas $A_2 \rightarrow D_1$, elemento de W_2 es una consecuencia lógica de W_1 , y si lo es, decimos que G_2 depende funcionalmente de G_1 a través de la cláusula R_2 de G_1 .

Siguiendo el procedimiento encontramos que:

1. $\sim A_2, B_1$
2. $\sim B_1, D_1$
3. $\sim D_1, \sim B_1, D_2$
4. A_2
5. $\sim D_1$

Las cadenas que cumplen con las condiciones a) y b) del algoritmo son: la 1 y la 4), aplicando el proceso de corte de átomos se obtiene:

1.	B_1	B_1	B_1	B_1	B_1	
2.	$\sim B_1, D_1$	D_1	D_1	D_1	D_1	
3.	$\sim D_1, \sim B_1, D_2$	$\implies \sim D_1, \sim B_1, D_2$	$\implies \sim B_1, D_2$	$\implies D_2$	$\implies D_2$	
4.	A_2	A_2	A_2	A_2	A_2	
5.	$\sim D_1$	$\sim D_1$	$\sim D_1$	$\sim D_1$	λ	.

Ya que en la última columna ocurre la cadena vacía, se dice que la cláusula o conjunto de cláusulas en W_2 son consecuencia lógica de W_1 . De esto se deduce que G_2 depende funcionalmente de G_1 , a través de la cláusula R_2 . De la misma forma se puede probar que $A_2 \rightarrow D_2$ también es una consecuencia lógica de W_1 . Nótese que el conjunto W_1 es aquel obtenido de la definición de rozamiento.

Continuando con el ejemplo de los conjuntos G_1 y G_2 , se mostrará la tabla de comunicación para ese caso donde el rozamiento es de grado uno y el conjunto $T = \{ A_2 \rightarrow B_1, B_1 \rightarrow D_1, D_1 \wedge B_1 \rightarrow D_2 \}$.

3. COMUNICACIÓN ENTRE BASES DE CONOCIMIENTO

Como ya se mencionó acerca de la necesidad de contar con protocolos de comunicación o simplemente comunicación entre BCs. Encontramos que el concepto de rozamiento nos da la facilidad de establecer un protocolo de comunicación lo cual se visualiza de la discusión del ejemplo de la sección anterior y prácticamente ahí se inicia la comunicación entre dos o más BCs. Es decir que dado que las BCs G_1 y G_2 se rozan o tienen rozamiento entonces ellas se comunican.

Ahora el problema es saber quien recibe o quien envía el mensaje y que tipo de mensaje.

Del ejemplo de la sección previa, nos preguntamos ¿bajo qué condiciones se obtiene información de un conjunto G_1 , si al estar comunicado con un conjunto G_2 , resulta que una cláusula en G_2 , requiere datos que están en G_1 ?. Más concretamente en nuestro ejemplo si G_1 contiene la regla $A_1 \rightarrow B_1$, y $B_1 \rightarrow D_1$ es una regla de G_2 y sabemos de nuestra tabla que G_1 comunica con G_2 en ese sentido. Entonces si al elegir G_2 para una consulta se escoge la regla $B_1 \rightarrow D_1$, ¿Cómo se determina B_1 en G_1 ?. La respuesta, se obtiene de la tabla de comunicación. Aún cuando el sentido es de G_1 a G_2 , ya que de la tabla se sabe que hay un conjunto de reglas que comparten información entre G_1 y G_2 , es decir se tiene comunicación inversa. Así, se encuentra que la regla que se tiene que evaluar es $A_1 \rightarrow B_1$, para obtener B_1 , no importando si A_1 es un dato o se tiene que generar, usando encadenamiento hacia atrás, en G_1 . De esta manera se obtiene la información de G_2 en G_1 haciendo su regreso a G_2 para evaluar la regla $B_1 \rightarrow D_1$.

El problema sobre la decisión de cuál BC se considera como origen o cuál como destino, se decide de la Tabla de Comunicación (TC) mostrada en seguida y discutida ampliamente en el capítulo cinco. Sin embargo sólo para dejar constancia que el problema de comunicación está resuelto, se muestra la TC del ejemplo de la figura 2.1.

Tabla 3.1 Tabla de comunicación del ejemplo figura 2.1

Reglas	Mensaje		Emisor	Receptor	Estado de la comunicación						
	SD	RQ			FCD	FCI	FCU	SIU	EST	YFC	ACK
$A_1 \rightarrow B_1$ $B_1 \rightarrow D_1$	B_1	B_1	$\langle G_2, FR \rangle$ $\langle G_2, FR \rangle$	$\langle G_2, FR \rangle$ $\langle G_1, FR \rangle$	1	0	0	0	OFF	0	1
						1	0	0	OFF	0	0

Esta TC resulta del ejemplo de la página 29, donde la regla que hace el rozamiento es R_2 : $A_1 \rightarrow B_1$. Brevemente se describen los parámetros aún cuando se darán con más detalle en el capítulo cinco.

Reglas: es la columna con las reglas que permiten la comunicación y son las que definen el rozamiento.

Mensaje: es la columna con el mensaje enviado o requerido, el primero es cuando se tiene comunicación directa y el segundo cuando se tiene comunicación inversa.

SD: indica qué mensaje se va a enviar.

RQ: indica qué mensaje se va requerir.

Emisor: es la base que envía el mensaje

Receptor: es la base que recibe el mensaje.

FR: indica la relevancia del tema. FR es un número entre 0 y 1

FCD: indica que la comunicación es directa

FCI: indica que hay comunicación inversa.

FCU: indica que es comunicado por el usuario.

SIU: indica que hubo comunicación por medio de un sistema experto instalado.

YFC: indica que ya fue comunicado.

ACK: indica que el mensaje fue recibido.

Con esto podemos concluir que los elementos principales para la comunicación están dados, al menos para los propósitos antes citados.

Por otro lado se puede decir que la división de la BC sirvió para mostrar que la comunicación entre BCs no divididas sigue el mismo patrón y se pueden comunicar BCs completas.

3.1 Sistemas cooperativos

Es notorio el hecho de que una vez que se tiene comunicación entre BCs es factible la cooperación entre ellas. Esto da lugar a definir un Sistema Experto Cooperativo (SEC).

Definición. Un Sistema Experto Cooperativo (SEC), es un sistema que utiliza varias BCs para una consulta, de tal forma que puede establecer una cooperación con varias de ellas

(o con todas) para dar una conclusión. No solamente distribuye la información cuando se requiere, sino además la solicita a quien la tiene.

La arquitectura que veremos en el siguiente capítulo corresponde a la de un SEC. Actualmente el interés en los investigadores por establecer un patrón de SEC ha crecido y se han publicado artículos mostrando diferentes intentos para establecer dicho patrón, el censo hasta 1995, asegura que la mayoría de los investigadores trata el problema de cooperación utilizando la tecnología de agentes y las arquitecturas de pizarrón de Erman [Erman, 1980]. En el siguiente capítulo se tiene una arquitectura que puede manejar varias BCs y configura un SE de primera generación con cada una de ellas y tiene la posibilidad de compartir su información a tiempo real dejando sus conclusiones en un área común. Para tal efecto utiliza un protocolo de comunicación que consiste en una Tabla de Comunicación (TC) que se establece previamente indicando que BCs se comunican y que tipos de mensaje se envían o reciben, la selección de las BCs candidatas para una consulta particular se hace por medio de un enunciado fuente que el usuario usa para explicar su problema y de ahí se establece cuales de las BCs escogidas son más importantes, esto se hace dinámicamente por medio de un Factor de Relevancia (FR) que se obtiene del enunciado fuente.

El SEC que se presenta, se comporta como un autómata finito, pues si consideramos a cada nodo como una BC, y el paso de una BC a otra por medio de una función de transición que toma una BC y un mensaje para llegar a otra BC. La BC inicial es determinada por el enunciado fuente entonces, definimos un SEC como una cuádruple:

$$\langle G, M, \delta, G_j \rangle$$

En donde

G : es el conjunto de BCs.

M : el conjunto de mensajes, que pueden ser enviados o requeridos.

δ : es una función de transición de BCs, definida como la TC

G_j : la BC inicial para alguna j , es obtenida de un enunciado fuente.

En este modelo la obtención de la BC inicial y la función δ son las más complejas de obtener. Esto se verá con detalle en los capítulos subsecuentes, sin embargo, se explica a continuación el comportamiento con respecto al automata finito.

Sea $G = \{G_1, G_2, \dots, G_n\}$ un conjunto de BCs, T un enunciado fuente en lenguaje natural, G_j una BC inicial determinada por T , realmente aunque con el enunciado T se pueden obtener varias BCs, el factor de relevancia es la clave para seleccionar una, la cual será la BC inicial. Una vez situado en una BC, se podrá pasar a otra BC sólo si el mensaje solicitado por el SE configurado con la BC inicial lo pide, de otra manera no habrá transición a otra BC. Como se explica en el capítulo siguiente, cabe mencionar ahora que la función de transición δ se describe a través de la TC, ya que en ella se encuentran tanto los mensajes

como las BCs que se visitarán. Es claro que todas las BCs que se visitan y la BC inicial tienen un área común de donde se leen y depositan los datos.

La arquitectura de este SEC tiene grandes aplicaciones, siendo de las más importantes la de generar BCs de otras BCs, utilizando solamente enunciados fuente con los que podamos decir que nos interesa de algunas BCs. Este es otro tema de investigación que se dejará para el futuro.

4. ARQUITECTURA DEL SISTEMA EXPERTO COOPERATIVO

En este capítulo se presenta la arquitectura del esqueleto del SEC que maneja diferentes BCs y se distingue de otras arquitecturas de SECs porque cuenta con dos características relevantes: la primera, es seleccionar una BC por medio de un texto que el usuario usa para explicar su problema y forma un SE relativo a ella. La segunda, es la posibilidad de comunicar las BCs seleccionadas, mediante una tabla previamente establecida que imita un protocolo de comunicación.

El diseño del SEC facilita la modelación del dominio de discurso porque se puede dividir en porciones y modelar cada una de ellas como BCs. Así, a cada división se le puede aplicar un esquema de representación de conocimiento, es más fácil modelar el conocimiento en pequeños fragmentos y obtener la unión de ellos como una BC general, en lugar de modelar todo el dominio con un sólo esquema de representación de conocimiento. Cada división del dominio de discurso se puede modelar con un esquema particular de representación del conocimiento. La BC así modelada se llama tema. La unión de todos los temas forman la BC general. Un tema es un texto o asunto sobre el que versa un discurso, realmente es conocimiento estructurado y genérico. Así que, un tema es una BC cuando se obtiene de los fragmentos del dominio de discurso o es una sub-base de conocimiento, cuando es una división de una BC. Sin embargo en ambos casos es una BC.

Uno de los principales problemas en la cooperación al usar diferentes BCs, es la transformación de hechos de un esquema de representación a otro, lo que hace interesante la arquitectura del SE aquí propuesto. El problema de la transformación de los hechos no ha sido resuelto. Sin embargo, la arquitectura no depende de él.

La arquitectura que aquí se presenta tiene un mecanismo similar al comportamiento de un médico general que decide por medio de síntomas del paciente qué posibles especialistas podrían curar las enfermedades del paciente. El esqueleto del SEC controla varias BCs y les asocia a cada BC su intérprete, según el esquema de representación de conocimiento. También toma en cuenta el caso cuando se requieren varios expertos, y trata el problema de cooperación formando una lista de todos los candidatos que pueden participar. Esta lista se determina con la información de un enunciado fuente en lenguaje natural que el usuario utiliza para exponer su problema. En la figura 4.3 se muestra la secuencia del flujo de la información en este SEC.

4.1 Componentes del esqueleto

La arquitectura del esqueleto consta de seis partes principales señaladas en la figura 4.1 con los puntos que a continuación se describen. La figura 4.1 nos muestra la arquitectura general del SE cooperativo.

- 1.- Conjunto de BCs y su tabla de registro. Esta tabla contiene el nombre de la BC y su intérprete. Las BCs en principio pueden estar estructuradas en los diferentes esquemas de representación que lo ameriten, según la arquitectura general. Sin embargo, aquí sólo se trata el esquema de reglas de inferencia.
- 2.- El módulo selector utiliza el algoritmo de selección de BCs para identificar una o varias BCs que se da en la página 47. El inventario es un grafo dirigido formado por las parejas ordenadas de palabras clave inherentes al tema.
- 3.- Máquinas inferenciales (intérpretes) dependen del tipo de representación del tema. En nuestro caso sólo se cuenta con una máquina de inferencias que interpreta reglas.
- 4.- El inventario es el conjunto de parejas ordenadas de palabras clave.
- 5.- La Tabla de Comunicación (TC) o protocolo de comunicación, se compone de filas y columnas en donde se identifican los temas que tienen enlace con otros, los mensajes que se envían y parámetros que identifican el estado de la comunicación, Así, como su factor FR.
- 6.- El módulo explicativo consiste de procedimientos que se activan bajo situaciones que el usuario presenta y conducen a explicaciones de algunas actividades del esqueleto general. Este módulo es independiente de los módulos explicativos de cada SE particular que se forma con las BCs seleccionadas.

Otro elemento que se asocia a las BCs, es un factor de relevancia (FR) que se determina dinámicamente a partir del inventario o que el experto humano podría asignar a cada BCs, según su importancia. Por lo que este factor puede ser dinámico o estático y en cualquier caso toma un valor. En el caso dinámico es la longitud de las trayectorias de inventario, como ha sido explicado en el capítulo uno. Por lo tanto ya que el valor de FR depende principalmente del enunciado fuente, así, para diferentes enunciados fuentes en lenguaje natural se tendrán diferentes FRs.

El FR sirve para jerarquizar un conjunto de BCs. Por ejemplo, supongamos que se han detectado dos BCs para diagnosticar infecciones intestinales e infecciones cerebrales, el SEC podría seleccionar la primera si contara con mayor número de evidencias, pero si la de

mayor relevancia, aún con menor número de evidencias fuera la segunda, ésta sería la que seleccionaría. Otro ejemplo sería si se consideran cuatro temas: cabeza, tronco, extremidades inferiores y extremidades superiores, entonces, el factor de relevancia de mayor valor se encontraría en el tema cabeza, sin embargo esto va a depender del enunciado fuente ya que el usuario en él da las evidencias de su problema, y entonces podría ser que el tema que seleccionará fuera otro.

También para jerarquizar los temas, se planteó otra posibilidad, basada en la definición de contexto débil y contexto fuerte la que se explica en la sección 4.1.5.

Resumiendo se puede decir que el modelo del SEC, requiere una estructura de sus BCs con tres elementos asociados, el Tema, el Inventario, y el Factor de relevancia, aunque este último se obtiene del inventario. Esto es:

$$G = \langle \cup G_j, I_j, FR_j \rangle \text{ par } j=1, n$$

Se debe recordar que los G_j 's pueden tener una estructura de acuerdo al esquema de representación de conocimiento usado, sin embargo la explicación dada en el capítulo es que las G_j 's están estructuradas en reglas de inferencia.

4.1.1 Selector de las bases de conocimiento

El selector de las BCs es un módulo de la arquitectura del esqueleto del SEC que utiliza un algoritmo con el que se detecta la BC que semánticamente "empata" con el texto del usuario. Esto se logra por medio de los inventarios de las BCs registradas y el enunciado fuente del usuario, es decir, básicamente consiste en determinar la intersección de cada inventario de las BCs y el producto cartesiano del conjunto de palabras significativas del texto. Las palabras significativas son todas aquellas palabras distintas a los conectivos gramaticales, tales como, artículos definidos, artículos indefinidos, adverbios, etcétera. Una vez seleccionadas las BCs se forma una lista de ellas y se ordenan de acuerdo los FRs o según su contexto débil o contexto fuerte.

El SEC puede contar con una opción para que el usuario escoja manualmente las BCs desde un menú y con ellas se forme una lista, en el orden en que él las escoja y esa será la jerarquía. En cualquier caso manual o automático los procesos de comunicación y cooperación no cambian.

ARQUITECTURA DEL ESQUELETO PARA MANEJAR BASES DE CONOCIMIENTO ESTRATIFICADAS EN TEMAS

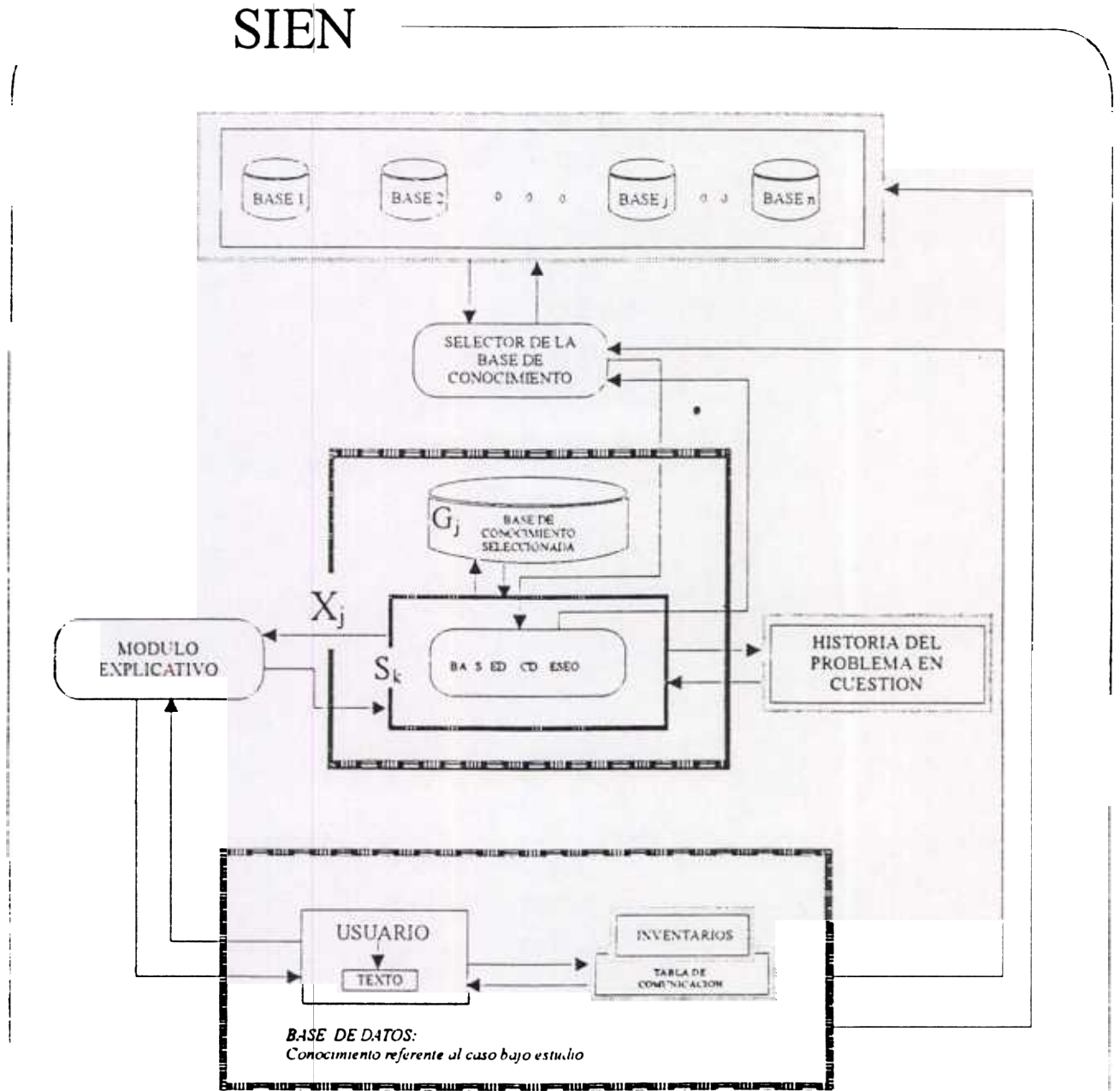


Figura 4.1

Organización del sistema Experto Nodriz (SIEN) en donde los óvalos indican procesos, los rectángulos de línea punteada son datos permanentes y los rectángulos en negrita son subsistemas.

4.1.2 Los inventarios de las bases de conocimiento

Los inventarios son relaciones binarias y constan de palabras características del tema, a las que les he llamado palabras clave por ejemplo, la suspensión de un carro se puede considerar como un tema, que se puede identificar cuando se habla de "los amortiguadores", donde amortiguador es una palabra característica que distingue al tema suspensión, entonces la considero como una palabra clave. Cuando se habla de temas siempre se introducen palabras características con las que se distinguen unos de otros. Por ejemplo, si se trabaja con alguna clase de peces o con alguna parte de una bicicleta, el uso de palabras clave nos ubica en esos temas.

Hay dos maneras de obtener un inventario, en forma natural o en forma arbitraria. En forma natural se obtiene directamente de la BC examinando los átomos de las reglas y extrayendo de ellas las palabras clave, de tal forma que cuando se detecten una o más palabras clave en los átomos de antecedentes que ocurren en los átomos de consecuentes de otras reglas entonces, se hacen las ligas entre palabras clave formando un grafo. En forma arbitraria el experto humano dice cuales son las palabras clave.

Los siguientes dos alternativas se usan para construir un grafo con las palabras clave.

La primera considera el siguiente criterio: (que no es único) a partir de la relación entre reglas de la BC, se toman en cuenta átomos consecuentes que contengan palabras clave para ser inicio de una flecha del grafo y su destino aquella regla cuyo átomo contiene una palabra clave que se encuentre como parte del antecedente y todas las palabras clave que se involucren en esa regla. Y la segunda alternativa, es en forma arbitraria, simplemente se da la relación de palabras clave que el experto humano sabe que el usuario utilizará cuando hable de su problema y con ellas se forma el grafo.

4.1.3 Representación del conocimiento

Antes de plantear el algoritmo para seleccionar las BCs, es conveniente definir un lenguaje que será usado para formar los conjuntos G_j , $j=1,2,\dots,k$. Así, definimos un sistema sintáctico proposicional y un lenguaje proposicional bivalente y de esta manera poder describir los eventos de algún fragmento de la realidad, para formar los conjuntos G_j de oraciones. También se pudo haber propuesto el lenguaje de cálculo de predicados, pues solo interesa plantear la necesidad de un lenguaje.

Para ver más clara la necesidad de contar con un lenguaje, se puede hacer el siguiente análisis sobre el tratamiento de un fragmento de la realidad, identificando cómo se manifiestan los eventos en ese dominio y cómo manipularlos simbólicamente. Esto lleva al uso obligado de un lenguaje intermedio.

En un fragmento de la realidad o dominio de experiencia se identifican los eventos, conceptos, objetos, procesos, etc. que ahí ocurren y se describen las posibles estructuras de datos de los mismos para proponer un modelo de ese fragmento de la realidad, sin embargo, lo mismo se puede hacer por medio de oraciones de algún lenguaje formal.

Un esquema de representación de conocimiento es un conjunto de procesos y definiciones que permiten representar los eventos de un fragmento de la realidad, tomando en cuenta un lenguaje formal para describirlos. Para lo cual se considera el siguiente planteamiento:

Sea M un conjunto universal de todos los eventos de algún fragmento de la realidad y R un conjunto de procesos de objetos y estructuras de M que permiten una interpretación. Sea m el conjunto de imágenes lógicas de M , es decir aquellas imágenes que se pueden tomar de eventos que se suceden en forma lógica para concluir un proceso, así que se debe entender que existe un formalismo lógico de las relaciones de M y m .

Sea r un conjunto de procesos y definiciones en m que permiten representar los eventos de M , por lo cual r se dice ser un esquema de representación. Se define un cuerpo de conocimiento como la estructura (M,R) o (m,r) . La posibilidad de interpretación de los elementos de r como los eventos E_1, E_2, \dots, E_n ; asegura que existe una transformación f entre (M,R) y (m,r) y esta representación es completa. Por otro lado, considérese a I como el conjunto de todas las posibles imágenes de M . En este contexto entendemos una imagen como un modelo de un evento E_i de M . La relación entre los elementos de la imagen garantiza su existencia, de lo cual se obtiene una estructura llamada estructura de imagen. Más concretamente, si E_i es un evento de M y e_i una imagen en I de E_i , podemos pensar en la estructura de la imagen e_i , como la coordinación de relaciones entre la imagen y la realidad y que asegura que e_i es una representación completa de E_i , a esto se le llama una relación reproductiva. La relación reproductiva permite la representación de las propiedades existentes de los objetos y las relaciones entre ellos en el evento E_i de M . Sea f la función de reproducción que permite relacionar un evento E_i de M con la imagen e_i de I . La reproducción nos permite representar aquellas propiedades de las relaciones entre los elementos de E_i que no son preservadas en e_i pero que deben estar representadas explícitamente.

Sea P el conjunto de todas las proposiciones del lenguaje natural factibles en este fragmento de la realidad M . Si la proposición P_i de P es una imagen de M , entonces todo aquello que una proposición comunica acerca de un evento de M es su relación reproductiva, esto se debe a que a cada objeto le corresponde un nombre y la relación entre ellos es un evento de M . Es importante señalar que una proposición sin una estructura gramatical correcta, no representa una imagen de M .

La forma de reproducción es necesaria para que una imagen e_i de I o una proposición P_i de P sea una representación completa de un evento E_i de M . Se puede decir que todas las descripciones de un evento E_i que está en M , obtenida de I , P y m debe ser lógicamente

equivalente. Esto es, queremos tener la posibilidad de referir a r , ya sea por medio de las proposiciones de P o por medio de las imágenes de I o ambos.

De esta manera hemos obtenido que un evento E_i de M puede ser descrito a través de una proposición P_i de P .

Ahora nos encontramos en una posición en la que, podemos definir un sistema sintáctico proposicional y un lenguaje proposicional bivalente con el cual podamos describir los eventos E_i de M .

4.1.3.1 El lenguaje de proposiciones

Un sistema sintáctico comprende un vocabulario y una gramática. La gramática es una especificación acerca de cómo han de construirse las oraciones a partir del vocabulario. El vocabulario de un sistema sintáctico es un conjunto no vacío de elementos llamados palabras. Una expresión es cualquier sucesión finita de palabras.

Definimos la operación concatenación; si A y B son dos expresiones, entonces, la concatenación de A y B es una expresión AB .

Con cualquier sistema sintáctico se encuentra asociada una buena ordenación, denominada el orden alfabético.

La gramática del sistema consiste en la división del conjunto de expresiones en la clase de los sustantivos, la clase de los funtores de diversos tipos (conectores, predicadores, operadores, subectores) y de un residuo de expresiones que no desempeñan papel significativo alguno. Cuando un sustantivo o una oración pertenecen al vocabulario mismo, generalmente se le denomina atómico.

Definición. Un sistema sintáctico proposicional es una tripleta $\langle A, L, O \rangle$, en la que:

- a) A es un conjunto, a lo más contable, de las oraciones atómicas;
- b) L es un conjunto de cuatro elementos distintos $\{ \wedge, \sim, (,) \}$ ($\wedge \sim$ signos lógicos), ajeno a A ;
- c) O (el conjunto de oraciones) es el menor conjunto que incluye A y tal que si A y B están en O , también lo están $(\sim A)$ y $(A \wedge B)$.

En términos de valuaciones podemos definir propiedades semánticas de oraciones y de conjuntos de oraciones y relaciones semánticas entre éstas.

Una valuación de un sistema sintáctico es una función que asigna V (verdadero) a algunas de sus oraciones y/o F (falso) a algunas de sus oraciones. De manera precisa, una valuación aplica un subconjunto no vacío G de L de oraciones en el conjunto $\{V, F\}$.

Esto es:

$$v:G \rightarrow \{V,F\}$$

Denominamos bivalente a una valuación si y sólo si aplica todas las oraciones en $\{V,F\}$

En general, algunos de los símbolos tienen un significado planeado y esto nos lleva a hacer una distinción entre valuaciones admisibles e inadmisibles. Un lenguaje L comprende exactamente un sistema sintáctico (su sintaxis) y una clase no vacía de valuaciones de ese sistema sintáctico (sus valuaciones admisibles). Las expresiones de la sintaxis de L se denominan, también expresiones de L . Como ejemplo consideremos el cálculo proposicional.

Definición. L es un lenguaje proposicional bivalente si y sólo si su sintaxis es un sistema sintáctico proposicional y sus valuaciones admisibles son las funciones v tales que, para todas las oraciones A, B de L ,

- a) $v(A)$ está en $\{V,F\}$;
- b) $v(\sim A)=V \Leftrightarrow v(A)=F$;
- c) $v(A \wedge B)=V \Leftrightarrow v(A)=v(B)=V$

Un concepto importante es el de satisfacción. Un conjunto X , de oraciones de L , es satisfecho por una valuación admisible, v , de L , si y sólo si $v(A)=V$ para todo miembro A de X . También diremos " v satisface a A " cuando v satisface a $\{A\}$, y " X (respectivamente a A) es satisfactorio (en L)" cuando alguna valuación admisible de L satisface a X (a A respectivamente).

Podemos establecer que los eventos (los posibles de representación) se pueden describir a través de este lenguaje, pero más aún, si G es un conjunto de oraciones de L supondremos que G , se constituye de oraciones de la forma "Si p entonces q " (reglas), en donde p y q pueden estar constituidas de varios elementos atómicos.

4.1.4 Relaciones y el algoritmo de Warshall

Para establecer el algoritmo de selección de BCs, es necesario determinar la el cálculo de la relación R^∞ sin que haya que efectuar los producto de matrices binarias asociadas a las relaciones binarias correspondientes a los inventarios antes explicados en el capítulo uno. La relación R^∞ es fundamental en algoritmo de selección de BCs como se verá en la sección 4.1.5.

Para definir dicha relación R^* consideremos un conjunto $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ y una relación R definida sobre él.

Supóngase que R es una relación en el conjunto A . Una trayectoria de longitud n de a a b es una sucesión finita $p = a, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, b$, que se inicia con a y termina con b , tal que,

$$a R x_1, x_1 R x_2, \dots, x_{n-1} R b$$

Obsérvese que una trayectoria de extensión n involucra a $n + 1$ elementos, aunque no necesariamente distintos.

Una trayectoria se puede visualizar fácilmente con ayuda del grafo dirigido de la relación, como se explicó en el capítulo uno. Esta aparece como una "trayectoria" geométrica o una sucesión de aristas en el grafo dirigido, donde las direcciones indicadas en las aristas se siguen y de hecho una trayectoria lleva ese nombre por esta representación. Por consiguiente, la longitud de una trayectoria es el número de aristas en la trayectoria, donde no es necesario que todos los vértices sean distintos.

Es claro que las trayectorias de longitud 1 pueden identificarse con los pares ordenados (x, y) que pertenezcan a R . Las trayectorias en una relación pueden usarse para definir nuevas trayectorias, las cuales son muy útiles. Si n es un entero positivo fijo se define una relación R^n en A como sigue: " $x R^n y$ " significa que existe una trayectoria de longitud n de x a y en R . También se puede definir una relación R^* en A , haciendo que " $x R^* y$ " signifique que existe alguna trayectoria en R de x a y . La longitud de esta trayectoria dependerá, en general, de x , y de y . A R^* se le llama algunas veces relación de conectividad de R .

Sea R una relación en un conjunto finito $A = \{a_1, \dots, a_n\}$, y sea $M_R = [m_{ij}]$ la matriz de $n \times n$ de R . Entonces $m_{ij} = 1$, si y sólo si $a_i R a_j$. Entonces la matriz de R^2 , es $M_R \odot M_R$, la de R^n $M_R = M_R \odot M_R \odot \dots \odot M_R$ (n factores). La operación \odot entre matrices mantiene la misma regla de multiplicación de matrices usual, excepto que la suma y el producto de sus elementos son binarios.

La cerradura transitiva de R , $R^* = R^1 \cup R^2 \cup \dots \cup R^n$ se puede determinar sin calcular las potencias de M para encontrar R^* , usando el algoritmo de Warshall [Kolman, 1986].

La razón de calcular R^* , es que en el algoritmo de selección de BCs, requiere de todas las posibles trayectorias cuyos vértices que son palabras clave se encuentran en el enunciado fuente del usuario.

4.1.4.1 Algoritmo de Warshall

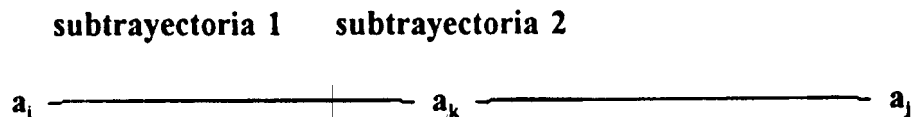
Sea R una relación en un conjunto $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$. Se introduce una sucesión de matrices W_0, W_1, \dots, W_n tal que $W_0 = M_R$ y $W_n = M_R^x$, y cada matriz se calcula fácilmente a partir de la anterior. Estas son distintas de las potencias de M , y esta diferencia resulta de gran ayuda en el cálculo. En una trayectoria x_1, x_2, \dots, x_n , cualquier vértice excepto el primero y el último (en este caso x_2, \dots, x_{n-1}) se llama vértice interior. Para cualquier entero fijo k entre 1 y n , se define W como la matriz que tiene un 1 en la posición i, j si y sólo si existe una trayectoria en R de a_i a a_j cuyos vértices interiores, si existen, vienen del conjunto $\{a_1, a_2, \dots, a_k\}$. En otras palabras, los vértices interiores no pueden tener subíndices mayores que k . Se define W_0 como M_R . Se ve que $W_n = M_R^x$ ya que cualquier trayectoria deberá tener vértices interiores que vengan de $\{a_1, a_2, \dots, a_n\} = A$. Ahora se mostrará cómo se calcula cada W a partir de las matrices W_1, W_2, \dots, W_{k-1} . Sea $W_k = [w_{ij}]$, esto es, w_{ij} es el componente en la posición i, j de la matriz W_k . Entonces se tiene el siguiente resultado en base a Warshall [Kolman, 1986]

Teorema Para cualquier i, j, k $0 \geq i, j, k < n$.

$$w_{ij}^{(k)} = w_{ij}^{(k-1)} \vee (w_{ik}^{(k-1)} \wedge w_{kj}^{(k-1)})$$

Demostración. El teorema establece que si $w_{ij}^{(k)} = 1$ si y sólo si ya sea que $w_{ij}^{(k-1)} = 1$ o ambas $w_{ik}^{(k-1)}$ y $w_{kj}^{(k-1)}$ son uno

Para ver esto, examínese una trayectoria que va de a_i a a_j y tiene todos sus vértices interiores en el conjunto $\{a_1, \dots, a_k\}$. La existencia de tal trayectoria es equivalente al enunciado $w_{ij}^{(k)} = 1$. También se supone, todos los vértices de la trayectoria son distintos, exceptuando el primero y el último si $a_i = a_j$. Sólo existen dos posibilidades, ya sea que esta trayectoria no tenga al vértice interior a_k o que sí lo tenga. Si no lo tiene, los vértices interiores pertenecen al conjunto $\{a_1, \dots, a_{k-1}\}$, por lo cual $w_{ij}^{(k-1)} = 1$. Si a_k es un vértice interior, la situación es como se muestra en seguida:



La subtrayectoria 1 va de a_i a a_k y los vértices interiores pertenecen al conjunto $\{a_1, \dots, a_{k-1}\}$. Esto se debe a que también ellos son vértices interiores de la trayectoria original y pertenecen al conjunto $\{a_1, \dots, a_k\}$, pero a_k pertenece sólo una vez, como se muestra. La existencia de la subtrayectoria 1 demuestra que $w_{ik}^{(k-1)} = 1$ y de manera similar la subtrayectoria 2 dice que $w_{kj}^{(k-1)} = 1$.

Recíprocamente, si $w^{(k-1)}_{ij} = 1$ o ambas $w^{(k-1)}_{ik}$ y $w^{(k-1)}_{kj}$ son uno, entonces $w^{(k)}_{ij} = 1$ lo que completa la prueba.

Este teorema es la base del algoritmo de Warshall. Inicia con $W_0 = M$ y se usa la ecuación (1) para calcular cada W_k de W_{k-1} hasta alcanzar $W_n = W_R^x$. La ecuación (1) muestra que si $w^{(k-1)}_{ij} = 1$, entonces $w^{(k)}_{ij} = 1$. Esto significa que cada componente que es 1 en la matriz W_{k-1} mantiene un 1 en la matriz W_k . La ecuación (1) muestra también que si tiene un nuevo 1 en la posición i,j de W_k (esto es, un componente 1 que no estaba en W_{k-1}) sólo si existían unos en las posiciones i,j y k,j de W_{k-1} . Esta observación lleva al siguiente procedimiento para el cálculo de W_k y de W_{k-1} ,

Paso 1 Transferir a W_k todos los unos de W_{k-1}

Paso 2 Enlístense las localidades p_1, p_2, \dots , de la columna k de W_{k-1} donde el componente sea 1 y las localidades q_1, q_2, \dots , de los renglones k de W_{k-1} , donde el componente sea 1.

Paso 3 Acomodar todos los unos en las posiciones p_i, q_j de W_k (si todavía no los tienen).

El algoritmo de Warshall nos será de gran ayuda para el cálculo del algoritmo de selección de BCs, ya que en él se requiere de la relación R^c .

A continuación se explica el algoritmo de selección de Bcs, que utiliza como entrada el texto del usuario y da como resultado uno o varios nombres de archivos que contienen las BCs.

4.1.5 Algoritmo para seleccionar bases de conocimiento

Sean G_1, G_2, \dots, G_k BCs, consideradas como conjuntos de oraciones del lenguaje L definido anteriormente. Por lo tanto los elementos de la BC G_j , $j = 1, 2, \dots, k$ están relacionados en alguna forma, supondremos que existe una relación binaria (esta relación es intrínseca de los elementos de la BC) [Kolman, 1986], [Roos, 1990] de estas oraciones (posiblemente de algunas), es decir, que si A y B son oraciones de G_j , $j = 1, 2, \dots, k$, entonces, la oración A se relaciona con la oración B por medio de sus componentes atómicos. Sean, $A_{1j}, A_{2j}, \dots, A_{mj}$ oraciones en los conjuntos G_j , $j = 1, 2, \dots, k$, (que distinguen a cada G_j de las demás). Cada conjunto de oraciones $\{A_{mk}\}$ contiene un subconjunto $\{P_{sj}\}$ $s \leq m$ de palabras características de cada G_j que pueden definir un contexto, a estas palabras se les llamó **palabras clave**. Nótese que la relación (binaria) entre las oraciones $A_{1j}, A_{2j}, \dots, A_{mj}$ de G_j para cada j induce una relación de la misma forma sobre el conjunto $K_j = \{P_{sj}\}$ con $s \leq m$ para $j = 1, 2, \dots, k$. Sea R_j la relación definida sobre K_j , así que podemos asociar un grafo a R_j para $j = 1, 2, \dots, k$. A este conjunto (grafo) le hemos llamado **inventario**. De la gráfica de R_j , $j=1, 2, \dots, k$ podemos conocer la longitud de la trayectoria entre cada pareja relacionada de palabras clave, esto es de interés para saber si el texto del usuario y los conjuntos G_j son del mismo

contexto para alguna j . De esta longitud podemos determinar qué tan fuerte o débil es el contexto entre el texto del usuario y la BC seleccionada. Es decir, la selección de una BC es de contexto fuerte si la longitud de la trayectoria del grafo (inventario) es de orden n , caso contrario es de contexto débil.

Sea T el texto del usuario y Q el conjunto de palabras significativas obtenidas de T . Esto se logra utilizando un filtro para capturar sólo las palabras significativas de T .

Sea f un filtro, entonces, $f(T) = Q$. La función f simplemente aplica una diferencia de un conjunto de conectivos gramaticales (proposiciones, adverbios, artículos determinados, etc. y de aquellas palabras que no queremos que sean incluidas en el conjunto Q) en el conjunto de palabras que se encuentran en T . Esto es:

$$f(T) = T - N \cap T = Q$$

en donde $N = \{\text{el, la, lo, la, las, los, un, uno, unos, unas, de, desde, etc., y todo aquello que no queramos considerar como palabra significativa}\}$

También debe notarse que si el texto T se considera como un conjunto de oraciones separadas por un delimitador, digamos "slash" (/) y con una @ el fin del texto. Entonces a cada oración se le puede asignar una medida de creencia (para calcular el factor de certeza que se determina por medio de la medida de creencia)

Por ejemplo, supóngase el siguiente texto:

"El eje delantero hace ruido (0.5)/ y la cadena se zafa cuando se acelera la bicicleta (0.6) /@".

En un texto se puede dar información en general, también oraciones con medidas de creencia o probabilidades, esto deberá establecerse previamente, ya que no se podrán mezclar, medidas de creencia y probabilidades para las oraciones del mismo texto.

Existe la posibilidad de clasificar los hechos de un texto, entonces se puede asignar entre paréntesis un valor para las oraciones con un factor de incertidumbre. Estos valores siguen la misma sintaxis en cada uno de sus modelos, es decir, estos valores serán tratados en su esqueleto correspondiente. O sea que, cuando se configura un SE como ya se explicó, es posible que éste acepte oraciones con incertidumbre y entonces, desde el texto se puedan obtener los datos para el SE configurado. Esto depende de cómo admita la información cada esqueleto.

Si tratamos oración por oración usando el filtro para obtener las palabras significativas, tendremos que:

$$f(O_i) = O_i - N \cap O_i = Q_i$$

en donde O_i es la i -ésima oración de T .

De esta manera obtenemos que el conjunto $Q = \cup_{i=1}^n Q_i$, donde n representa el número de oraciones.

Ahora N contiene también los símbolos $\{ / \text{ y } @ (.) \}$.

Si consideramos la restricción de R_j a Q , llamada S_j con $j = 1, 2, \dots, k$, esto nos puede decir si T y los conjuntos de oraciones G_j son del mismo contexto.

$$S_j = R_j^c \cap (Q \times Q)$$

Si S_j es vacía para alguna j no hay posibilidad de que para esa j , T y G_j sean del mismo contexto.

Si S_j es distinto del vacío se investigan sus elementos para ver si alguno de ellos pertenece al conjunto R_j^n , $j = 1, 2, \dots, k$ donde R_j^n (potencia n -ésima de R_j) es la relación definida sobre los conjuntos K_j para cada j . También se puede pedir que los elementos pertenezcan al conjunto R_j^c , donde R_j^c es una relación definida sobre los conjuntos K_j para cada j . En este caso, excluirémos todas las trayectorias de longitud 1 ya que no serán muy significativas para saber si T y G_j son del mismo contexto. Se debe recordar que $R_j^c = R_j^1 \cup R_j^2 \cup \dots \cup R_j^n$.

Para determinar el contexto débil o fuerte se calcula la siguiente relación y se definen ambos contexto débil y fuerte como sigue:

Si S_j distinta del vacío se construye

$$L_j = S_j \cap (R_j^c - R_j)$$

Se encuentra la longitud de los elementos L_j . Si los elementos de L_j son de longitud menor que el $\text{Max}\{R_j^c\}$ el contexto es débil.

long

Pero si los elementos de L_j son de longitud igual a $\text{Max}\{R_j^c\}$ el contexto es fuerte.

long

Se construye la lista de las G_j 's en el orden de acuerdo a las longitudes de los elementos de L_j , es decir respecto del contexto débil o fuerte con los cuales se jerarquizan las BCs.

El algoritmo para seleccionar BCs requiere como entrada un enunciado fuente en lenguaje natural que el usuario utiliza para explicar su problema en mano. Con el enunciado se determinan los inventarios que a su vez apuntan a las BCs. Implícitamente los inventarios permiten cálculo de los FRs. Finalmente el algoritmo entrega como salida un conjunto de BCs. Dicho algoritmo se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Se da un texto y se construye el conjunto Q.
2. Se construye una relación R_j inducida por la relación de los elementos de G_j para $j = 1, 2, \dots, k$ (o arbitrariamente por el experto humano)
3. Se obtiene el conjunto $S_j = R_j^\infty \cap (Q \times Q)$
4. Si $S_j = \emptyset \forall j$ no hay selección de las G_j 's, el proceso para y se regresa al paso 1
5. Si S_j distinta del vacío se construye $L_j = S_j \cap (R_j^\infty - R_j)$
6. Se encuentra la longitud de los elementos L_j
7. Si los elementos de L_j son de longitud menor que el $\text{Max}\{R_j^\infty\}$ el contexto es débil.
long
8. Si los elementos de L_j son de longitud igual a $\text{Max}\{R_j^\infty\}$ el contexto es fuerte.
long
9. Se construye la lista de las G_j 's en el orden de acuerdo a las longitudes de los elementos de L_j , es decir respecto del contexto débil o fuerte para jerarquizar.
10. En el caso de que las BCs G_j tengan asociado un factor de relevancia FR, la lista de las G_j 's se ordena de acuerdo a ellos.

Para ilustrar cómo funciona el algoritmo, se da un ejemplo por medio de reglas de inferencia. En este ejemplo se supone que las palabras claves son las siguientes: sinusitis, taquicardia, garganta-irritada, fiebre-reumática, asma bronquial, neumonía, garganta, silbilancias. Entonces, es factible formar un grafo dirigido con estas palabras. Se puede aplicar el criterio mencionado en la página 71 para construir el grafo.

Podría suceder que haya palabras que no se encuentren dentro de las reglas, pero posiblemente sean usadas por el usuario en la explicación de su problema y para el experto humano sean palabras clave, entonces esas palabras también serían parte del grafo.

De esta forma se seleccionan cuáles de las BCs G_j son factibles para el tratamiento del problema planteado por el usuario en T.

4.1.5.1 Ejemplo: selección de bases de conocimiento.

Como un ejemplo considere las siguientes reglas que son parte de una BC:

IF el paciente sufre de trastornos respiratorios.

THEN paciente sufre de sinusitis.

q2: **IF** el paciente presenta mucosidad en las membranas **AND** el paciente le duelen las amígdalas **AND** el paciente tiene palpitaciones en nódulos linfáticos cervicales.

THEN el paciente sufre de trastornos respiratorios.

q3: **IF** el paciente presenta propagación de infección en vías nasales **AND** el paciente tiene inflamación en los senos nasales **AND** el paciente presenta tensión emocional **AND** el paciente presenta fatiga continua.

THEN el paciente sufre trastorno emocional.

q4: **IF** el paciente padece resfrios comunes con frecuencia **AND** el paciente tiene mucosa que reviste las fosas nasales **AND** el paciente tiene infección respiratoria.

THEN el paciente sufre trastornos respiratorios.

q5: **IF** el paciente tiene complicaciones de vías respiratorias superiores **AND** el paciente tiene complicaciones de insuficiencia cardíaca **AND** el paciente tiene complicaciones de bradicardia **AND** el paciente tiene complicaciones de hipotensión **AND** el paciente tiene insuficiencia respiratoria **AND** el paciente tiene sinusitis **AND** el paciente tiene absceso periamigdalino **AND** el paciente tiene retrofaringeo.

THEN el paciente padece neumonía.

q6: **IF** el paciente presenta inflamación de garganta **AND** el paciente presenta miocarditis **AND** el paciente presenta dolor precordial **AND** el paciente presenta pericarditis **AND** el paciente presenta taquicardia.

THEN el paciente padece fiebre-reumática.

q7: **IF** el paciente padece de insuficiencia respiratoria **AND** el paciente padece de sinusitis **AND** el paciente tiene tos frecuente con secreciones **AND** el paciente tiene tiros supraesternales **AND** el paciente tiene tiros supraclaviculares **AND** el paciente tiene silbilancias.

THEN el paciente padece asma bronquial

De las reglas buscamos los átomos que tienen las palabras clave y su lugar. Por ejemplo:

De la regla q1 encontramos el átomo: "el paciente sufre de sinusitis" (palabra clave: sinusitis). Nótese que las palabras paciente y sufre no se incluyeron en el conjunto de palabras clave, aunque se podrían incluir.

De la regla q2 encontramos el átomo: "el paciente le duelen las amígdalas" (palabra clave: amígdalas).

De la regla q5 encontramos el átomo: "el paciente padece neumonía" (palabra clave: neumonía).

De la regla q6 encontramos los átomos: "el paciente presenta inflamación de garganta"; "el paciente presenta taquicardia" y el paciente padece fiebre-reumática" (palabras clave: garganta, taquicardia, fiebre-reumática).

De la regla q7 encontramos los átomos: "el paciente padece sinusitis", "el paciente tiene tos", el paciente tiene silbilancias" y "el paciente padece asma bronquial" (palabras clave: sinusitis, tos, silbilancias, asma bronquial).

Una vez detectadas las palabras clave y su lugar podemos formar el grafo según el criterio de la página 71, con lo cual obtenemos la siguiente tabla:

Tabla 4.1 Clasificación de las palabras clave de las reglas para formar el grafo.

Regla	Antecedente	Consecuente
q1		sinusitis
q2	amigdalitis	
q5	sinusitis	neumonía
q6	garganta taquicardia	fiebre-reumática
q7	sinusitis tos silbilancias	asma bronquial

$R = \{(sinusitis, asma), (sinusitis, tos), (sinusitis, silbilancias)\}$

De otra manera más simple construimos el grafo con las palabras clave arbitrariamente. Esto es:

$R = \{(amígdalas, garganta), (amígdalas, fiebre-reumática), (neumonía, taquicardia), (garganta, tos), (sinusitis, asma bronquial)\}$

Como se puede observar es más sencillo hacer la construcción del grafo en forma arbitraria, sin embargo de la otra forma se puede construir automáticamente.

De esta manera obtenemos todos los inventarios de todas las BCs, que son precisamente los grafos dirigidos.

El nombre de inventario da la idea de saber cuántas y qué palabras clave intervienen en cada BC (tema). Finalmente los inventarios aquí, son relaciones binarias que pueden manipularse matemáticamente.

4.2 Configuración de uno o más sistemas expertos

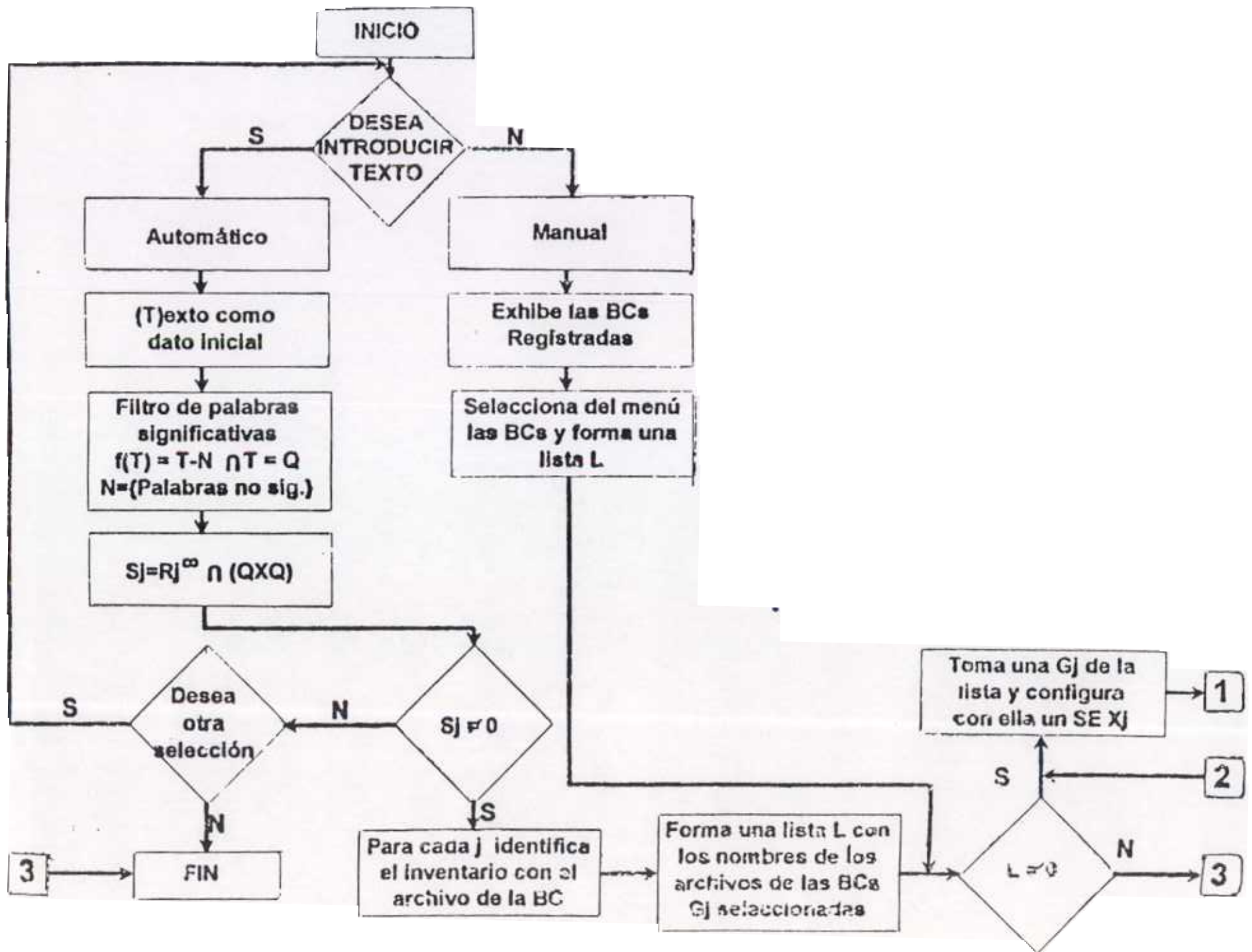
Una vez determinadas todas las G_j factibles para la solución del problema se guardan en una lista y se jerarquizan de acuerdo a los FRs. o bien a las longitudes de las trayectorias de los elementos de S_j , según se considere (esto se refleja en la TC). De esta lista de temas G_j para algunas j 's (posiblemente todas o ninguna) se escoge la primera (en el caso de que la lista no sea vacía) para configurar un SE relativo a esa G_j , se asocia un intérprete a ese tema y con ello se forma un SE relativo a esa G_j . Nótese que la lista de las G_j 's son SE en potencia.

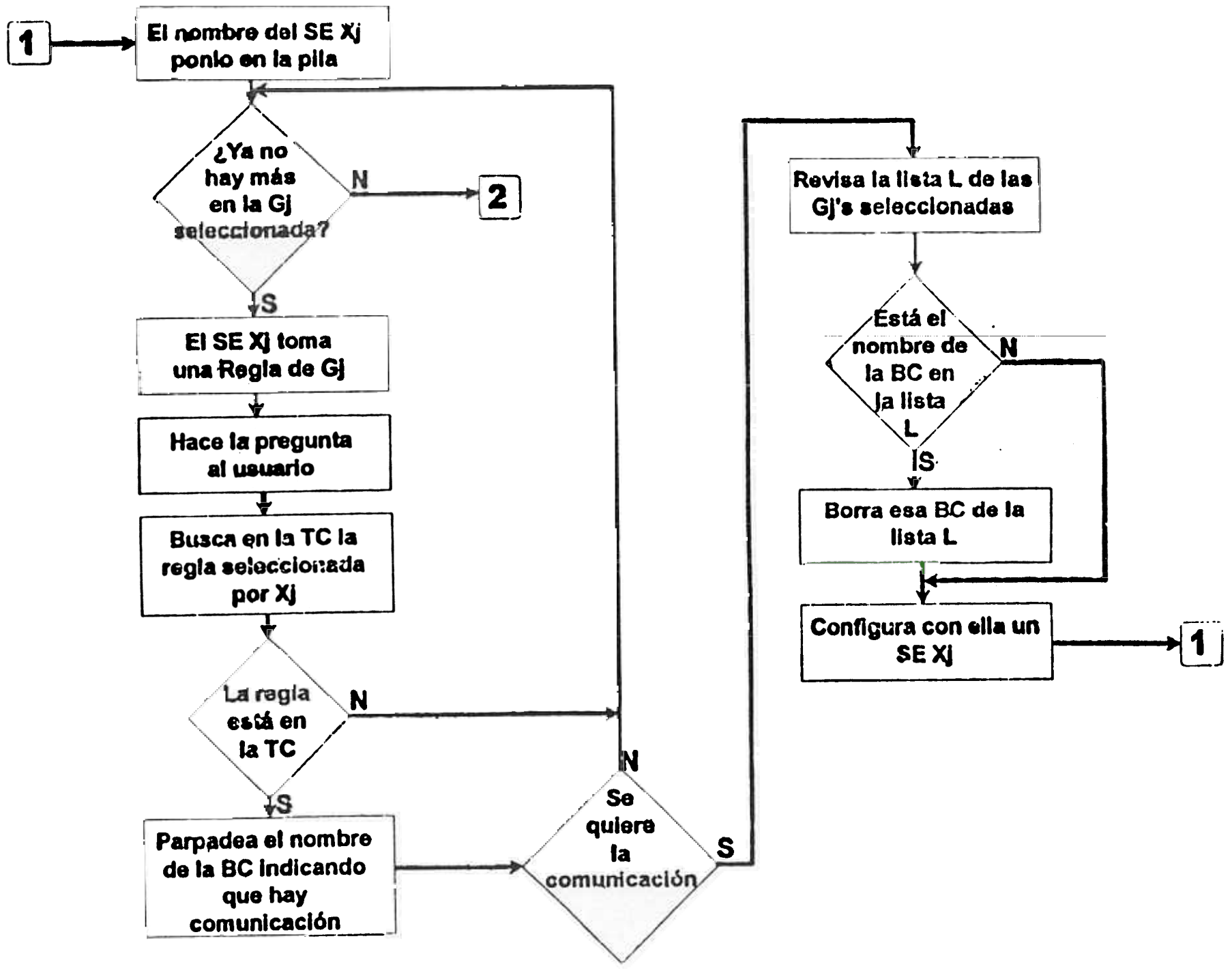
Supongamos que X_1 es el sistema experto configurado, entonces, X_1 toma una regla de la G_j en cuestión y la ejecuta, si la regla se confirma, se deposita en una pila (es la pila de la línea de razonamiento de X_1) y al mismo tiempo se verifica si la regla se encuentra en la TC. En caso afirmativo, se anuncia la comunicación de acuerdo a los parámetros de la TC.

Ahora considérese que la comunicación es con un sistema X_2 cuya BC es G_m , si el usuario decide cambiar de experto (con la nueva G_m), se tendrá una estructura similar que la que se tuvo con el SE X_1 . Si el caso es afirmativo guarda el estado de X_1 e instala un nuevo SE X_2 . De esta forma se van formando cadenas de expertos, los que se van apilando para formar una línea de razonamiento del esqueleto general que controla todos los SEs.

Note que X_1 , X_2 , o cualquier SE puede terminar hasta agotar sus reglas.

El esqueleto general sigue adelante con el siguiente elemento de la lista de BC y repite el proceso. Es interesante ver que la comunicación se puede dar desde otro SE no contemplado dentro de la lista de BCs detectadas por el usuario a través de su texto. La única condición es que se encuentre registrado en la TC. La figura 4.2 ilustra la secuencia del flujo de información.





5. COMUNICACION ENTRE SISTEMAS EXPERTOS

La comunicación entre SEs ha sido de gran interés en los últimos años, particularmente cuando se trata de establecer un diálogo entre ellos para compartir experiencias, sin embargo debido a la forma tan rígida de los SEs de primera generación, sobre todo cuando los diálogos pre-establecidos no ayudan en gran medida a resolver este problema o al menos a dar vías de solución, es decir no hay respuestas de un SE con respecto a las preguntas de otro en forma entrelazada, como una conversación. Una alternativa es cambiar la arquitectura general de los SEs para que en lugar de manejar una sola BC traten más de una, aún cuando en esencia se requiere de los primeros para el manejo particular de conocimiento de una pregunta o una respuesta.

La arquitectura del SEC al que se le nombró SIEN explicada en el capítulo anterior, permite simular una buena "conversación" y una buena cooperación entre dos o más SEs. La comunicación entre SEs en dicha arquitectura se centra en el uso de una TC que se construye con la ayuda del experto humano y que imita un protocolo de comunicación. En el capítulo tres se hizo una semejanza con el comportamiento de una autómeta finito, con la idea de establecer su estructura como una cuádruple $\langle G, M, \delta, G_j \rangle$, siendo $G = \{G_j\}, j=1, n$ el conjunto de BCs, M los mensajes que se reciben o se envían entre las G_j 's, δ la función de transición entre BCs determinada por la TC y G_j la BC inicial para alguna $j=1, n$ que se obtiene con el enunciado fuente en lenguaje natural que da el usuario para explicar su problema.

Con la TC se establece una cooperación efectiva entre varios SEs excepto que los candidatos para comunicarse se encuentran pre-establecidos en una tabla de registro en donde se tiene el nombre de la BC y su intérprete.

La comunicación que se efectúa con esta arquitectura de SEs, se comporta como un sistema de hipertexto es decir, la comunicación no es secuencial, sino que, cualquier SE puede interactuar con otros SEs.

La TC ya comentada brevemente en el capítulo dos, es como un protocolo de comunicación que se describe de la siguiente manera:

- Un conjunto de mensajes (antecedentes o consecuentes de reglas).
- Un emisor (BC (tema), en donde ocurre la regla que contiene el consecuente).
- Un receptor (BC (tema) donde el consecuente de la regla del emisor ahora es un antecedente en esta base).
- Un registro de un byte que actúa como un conjunto de banderas que sirven para indicar el estado de la comunicación.

Los elementos básicos para la comunicación entre dos o más SE, se muestran en la siguiente tabla. Para comunicarse los SEs están sujetos a las reglas registradas en la TC.

Tabla 5.1 Se muestra la comunicación de los temas descritos en la tabla 5.2.

Reglas	Mensaje		Emisor	Receptor	Estado de la comunicación						
	SD	RQ			FCD	FCI	FCU	SIU	EST	YFC	ACK
$A_3 \rightarrow D_1$	D_1		$\langle G_1, FR \rangle$	$\langle G_1, FR \rangle$	1	0	0	0	OFF	0	1

El significado de cada uno de los elementos de la tabla es el siguiente:

Reglas: son las reglas preestablecidas que permiten la comunicación y que definen el rozamiento. Por ejemplo: $A_3 \rightarrow D_1$ es una regla del ejemplo de la tabla 5.2, en donde A_3 y D_1 son los átomos de la regla y en este caso D_1 es el mensaje.

Mensaje: puede ser un mensaje enviado o requerido, el primero es cuando se tiene comunicación directa y el segundo cuando se tiene comunicación inversa.

SD: indica el mensaje que se va a enviar.

RQ: indica el mensaje que se va a requerir.

Emisor: es la BC que envía el mensaje

Receptor: es la BC que recibe el mensaje.

FR: indica la relevancia de la BC (tema). FR es un número entre 0 y 1, donde cero significa irrelevante y 1 significa totalmente relevante.

FCD: indica que la comunicación es directa, es decir que la regla encontrada en la tabla pertenece a una BC en donde se determinó un consecuente, que se encuentra como antecedente en otro tema y este es el mensaje que será enviado al receptor.

FCI: indica que hay comunicación inversa, es decir se trata de una regla encontrada en la TC que pertenece a una BC en donde el antecedente aún no se determina y que se debe evaluar en la BC que lo contiene como consecuente, usando un encadenamiento hacia atrás en esa BC, con el intérprete que le corresponda. Este proceso es tedioso debido a que hay que instalar el esqueleto correspondiente a esa BC para formar el experto relativo a esa BC (tema) y tratar la regla como una meta, regresando con el resultado al emisor, quien fue el que requirió la comunicación. Nuevamente se instala el experto que hizo la llamada, pero ahora con el dato requerido, como se verá en el ejemplo.

FCU: indica que es comunicado por el usuario. El usuario también puede hacer la comunicación en forma manual, respetando las reglas ya establecidas de comunicación por

los demás parámetros. Esto se logra directamente usando un comando del menú, que siempre estará en activo. Esto está directamente ligado con las reglas de la TC, ya que se puede prender la bandera FCU y el SE deberá seguir todo el flujo para los casos anteriores, es decir comunicación directa o inversa. El usuario también puede modificar la TC, pero tan pronto termine la sesión, la TC regresa a su estado inicial. Esto tiene una ventaja, ya que se puede hacer simulación o trabajar con dos SE casi simultáneamente. Siempre que el usuario decide la comunicación la bandera FCU queda prendida.

SIU: indica que hubo comunicación por medio de un SE instalado aún sin haber sido detectado por el usuario con su texto de entrada. Es decir que si se detectaron dos BCs G_1 y G_2 con el texto de entrada y se ha instalado un SE X_1 para G_1 , es posible que el SE X_1 llame al SE X_3 si es que, una de las reglas de G_1 requiere información de G_3 , la BC de X_3 . La comunicación pudo haber sido directa o inversa.

EST: exhibe el estado de comunicación actual del sistema, cada vez que hay un cambio de estado.

YFC: indica que ya fue comunicado. Esta bandera evita que se tengan ciclos. Es posible que haya necesidad de ellos, pero eso lo controla el usuario.

ACK: indica que el mensaje fue recibido aún sin haber sido comunicada la BC. Esto quiere decir que es posible obtener la información de un SE si se encuentra disponible, pero dicho SE no se instala.

Para ser más claro en la explicación del protocolo de comunicación, es conveniente dar un ejemplo que inicie desde la selección de la BC usando el algoritmo del capítulo tres. Con este ejemplo se cubren las posibilidades de comunicación más críticas. Es decir comunicación desde un SE instalado relativo a alguna BC o comunicación entre BCs seleccionadas por el texto del usuario, según se muestra en el diagrama del flujo de información en la figura 4.3 del capítulo 4.

El ejemplo muestra los pasos que se siguen, tanto en la selección de la BC a través de un texto, como de la comunicación de los SEs. Esta posibilidad de comunicación nos permite extender el conocimiento. En dicho ejemplo se consideran los temas (BCs) T_1 y T_2 definidos de la siguiente forma:

$T_1 = \{\text{enfermedades de la garganta}\}$ y $T_2 = \{\text{enfermedades intestinales}\}$

El contenido de ambos T_1 y T_2 se da en la tabla 5.2. Cada uno de los átomos $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3, C_1, C_2, C_3, D_1, D_2, D_3$ y D_4 , se dan explícitamente en las siguientes dos páginas.

Tabla 5.2 Ejemplo de dos bases de conocimiento con rozamiento.

TEMA 1	TEMA 2
R_{11} : IF A_1 and A_2 THEN A_3	R_{21} : IF B_1 and B_2 THEN B_3
R_{12} : IF A_3 THEN D_1	R_{22} : IF D_1 and B_3 THEN D_3
R_{13} : IF C_2 and D_3 THEN C_3	R_{23} : IF D_1 and D_2 THEN D_4
R_{14} : IF C_3 THEN A_3	
HECHOS: A_1, A_2, C_2	HECHOS: B_1, B_2, D_2

El diagrama de los dos temas que se muestra a continuación forman una red de inferencias que permiten identificar los traslapes de átomos de las reglas entre una y otra red de inferencias, a este hecho se le llamó rozamiento, ya definido en el capítulo dos.

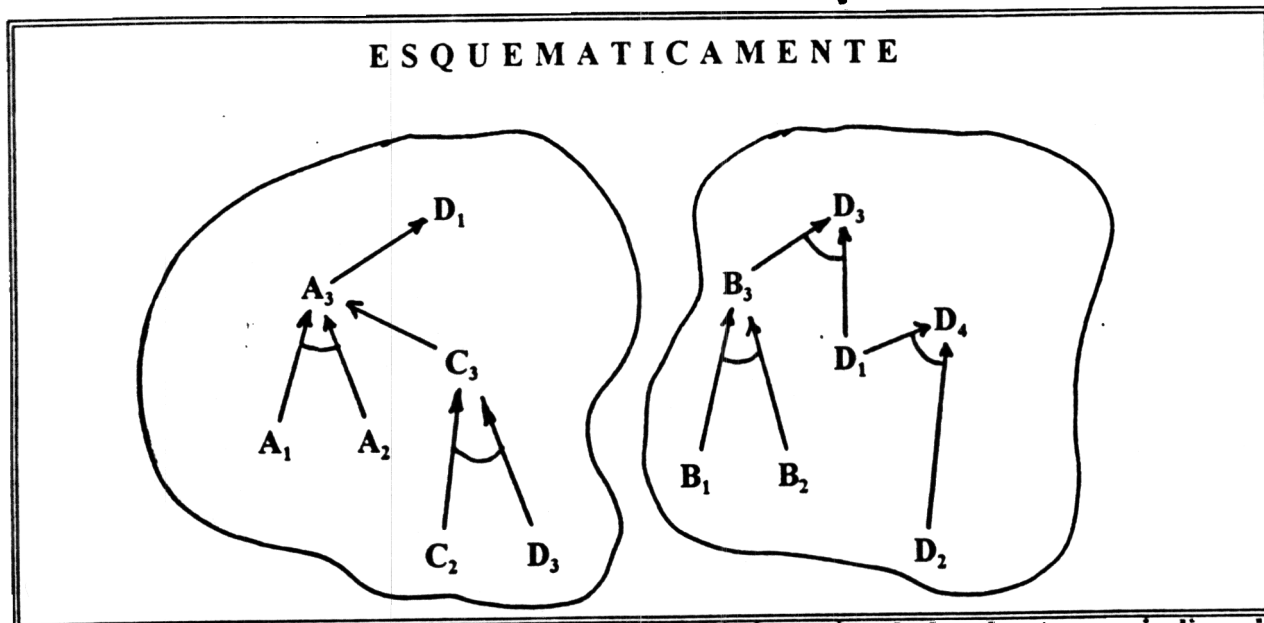


Figura 5.1 Esquema de los fragmentos de red de inferencias de los dos temas, indicando los rozamientos de la tabla 5.2

Ahora describimos cada uno de los átomos que componen las reglas.

Átomos de la base de conocimiento G_1 (TEMA 1)

- A_1 : El paciente tiene fiebre
- A_2 : El paciente no puede pasar saliva
- A_3 : El paciente tiene infección en la garganta
- D_1 : El paciente tiene sordera
- C_3 : El paciente sufre de dolor estomacal

- C₂:** El paciente come taquitos de cabeza
D₃: El paciente sufre de infección intestinal

Atomos de la Base de conocimientos G₂ (TEMA 2)

- B₁:** El paciente tiene mareos
B₂: El paciente tiene dolor de cabeza
B₃: El paciente tiene vómito
D₃: El paciente sufre de infección intestinal
D₁: El paciente tiene sordera
D₂: El paciente fuma en exceso
D₄: El paciente presenta problemas de equilibrio

En este ejemplo se presentan los casos más críticos de comunicación en esta arquitectura, que se citan en la siguiente manera:

- a) El emisor es la BC G₁, la comunicación es directa. la regla $A_3 \rightarrow D_1$ está registrada en la TC y R₁₂ es una regla de G₁, el mensaje es D₁.
- b) El emisor es la BC G₂ y la comunicación es directa, la regla $B_3 \wedge D_1 \rightarrow D_3$, está registrada en la tabla.
- c) El emisor es la BC G₂, la comunicación es inversa, la regla registrada en la tabla es: $D_1 \wedge D_2 \rightarrow D_3$, se requiere el mensaje D₁, que se tiene que evaluar de la BC G₁ usando un encadenamiento hacia atrás. En este punto se puede tener un conflicto ya que puede ser que haya más de un candidato en la BC G₁ con un consecuente con el mismo nombre; sin embargo se pueden tener tres alternativas: 1) que se busque un consecuente idéntico al solicitado; 2) que se determinen usando medidas de creencia como cuando varias hipótesis apuntan a una misma conclusión y 3) que se use el que ocurra primero, o uno por uno hasta encontrar el que satisfaga la regla.
- d) El emisor es la BC G₁, la comunicación es inversa, la regla es $C_2 \wedge D_3 \rightarrow C_3$. El mensaje es D₃, el cual tiene la misma explicación que en el caso anterior.
- e) Finalmente se presenta el caso en el que haya un mensaje de envío y otro de requerimiento en la misma regla, como lo es la regla R₂₂, es decir se tiene un consecuente que se usa en otra base como antecedente y requiere de un consecuente de otra base que el emisor usa como antecedente. En este caso la TC registra ambos datos y el primero que se obtiene es el dato requerido.
- A continuación se tiene la TC con sus parámetros y valores.

Una vez establecidas las BCs, se puede mostrar cómo, a través de un enunciado fuente en lenguaje natural escrito en un texto es posible seleccionar una de ellas o ambas para el tratamiento de la consulta, en el ejemplo se muestra.

Tabla 5.3 Tabla de comunicación del ejemplo de la figura 5.1

Reglas	Mensaje		Emisor	Receptor	Estado de la comunicación						
	SD	RQ			FCD	FCI	FCU	SIU	EST	YFC	ACK
$A_1 \rightarrow D_1$	D_1		$\langle G_1, FR \rangle$	$\langle G_1, FR \rangle$	1	0	0	0	OFF	0	0
$D_1 \wedge B_1 \rightarrow D_2$		D_1	$\langle G_1, FR \rangle$	$\langle G_1, FR \rangle$	0	1	0	0	OFF	0	0
$D_1 \wedge B_1 \rightarrow D_3$	D_3		$\langle G_1, FR \rangle$	$\langle G_1, FR \rangle$	1	0	0	0	OFF	0	0
$D_1 \wedge D_1 \rightarrow D_4$		D_1	$\langle G_1, FR \rangle$	$\langle G_1, FR \rangle$	0	1	0	0	OFF	0	0
$C_1 \wedge D_1 \rightarrow C_3$		D_3	$\langle G_1, FR \rangle$	$\langle G_1, FR \rangle$	0	1	0	0	OFF	0	0

Supongamos que las palabras clave para el tema 1 (G_1) son:

{dolor, garganta, oídos, cabeza, infección, intestinal}

Su Inventario es:

$R_1^1 = \{(dolor, oídos), (dolor, cabeza), (infección, intestinal), (infección, garganta), (garganta, dolor)\}$

Las relaciones de los elementos R_1^1 (inventario) con longitudes de trayectoria mayor de uno, se muestran en seguida.

$R_1^2 = \{(infección, dolor), (garganta, cabeza), (garganta, oídos)\}$

$R_1^3 = \{(infección, cabeza), (infección oídos)\}$

La relación R_1^∞ es en este caso:

$$R_1^\infty = R_1^1 \cup R_1^2 \cup R_1^3$$

$R_1^\infty = \{(dolor, cabeza), (dolor, oídos), (infección, intestinal), (infección, garganta), (garganta, dolor), (infección, dolor), (garganta cabeza), (garganta oídos), (infección cabeza), (infección oídos)\}$

El grafo de R_1^1 es el siguiente:

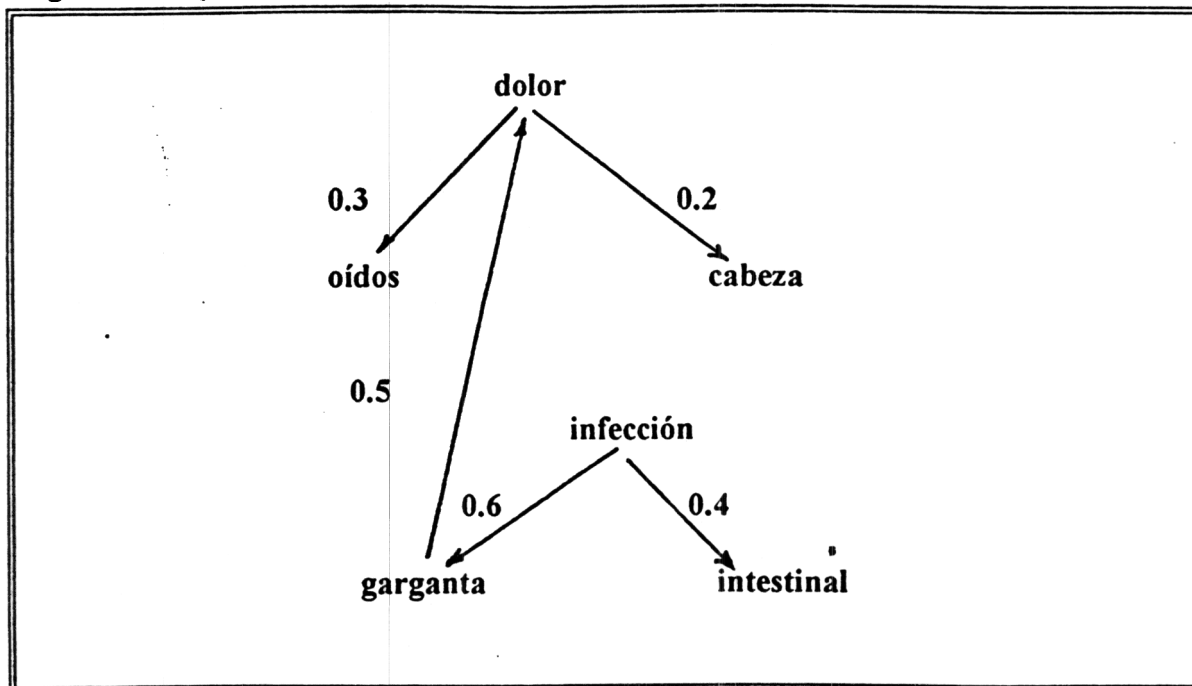


Figura 5.2 Grafo del inventario para la base de conocimiento G_1

Para el tema 2 (G_2) las palabras clave son:

{dolor, cabeza, depresión, infección, intestinal, mareo}

El inventario del tema 2 es:

$R_2^1 = \{(dolor, cabeza), (dolor, intestinal), (infección, intestinal), (infección, mareo), (depresión, mareo), (mareo, cabeza)\}$

Las relaciones de los elementos R_2^1 (inventario) de longitudes de trayectoria mayor que uno, se muestran en seguida.

$R_2^2 = \{(depresión, cabeza), (infección, cabeza)\}$

La relación R_2^∞ en este caso es:

$$R_2^\infty = R_2^1 \cup R_2^2$$

$R_2^\infty = \{(dolor, cabeza), (dolor, intestinal), (infección, intestinal), (infección, mareo), (depresión, cabeza), (mareo, cabeza), (infección, cabeza)\}$

el grafo del tema 2 (G_2) es:

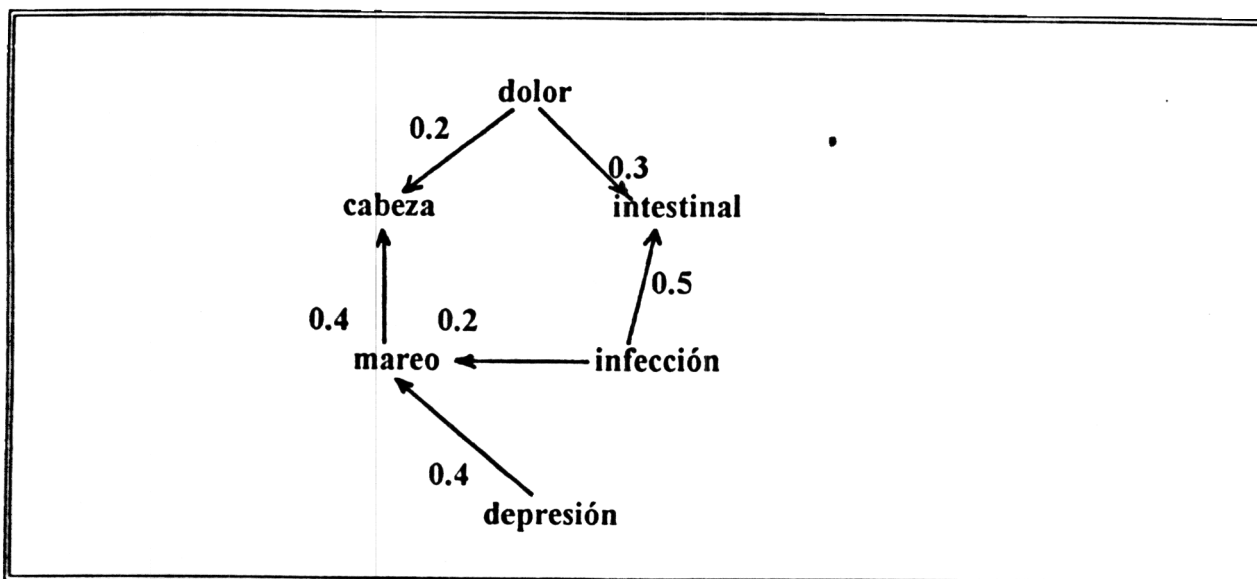


Figura 5.3 Grafo del inventario para la base de conocimiento G_2

Ahora supongamos que el usuario quiere hacer una consulta al SE con las dos BC G_1 y G_2 registradas, para lo cual él usa un texto T para seleccionar una de las dos bases o las dos bases a la vez.

$T = \{ \text{el paciente tiene dolor de cabeza y siente depresión} \}$

Según el algoritmo para seleccionar una BC tenemos que:

$$f(T) = T - N \cap T = Q$$

En donde f es el filtro definido como una diferencia de conjuntos, N es el conjunto de palabras no significativas y Q el conjunto de palabras significativas del texto T .

$N = \{\text{el la los las lo un una unos unas de desde y tiene ...}\}$

$N \cap T = \{\text{El de y tiene}\}$ y

$Q = \{\text{paciente dolor siente depresión}\}$

$Q \times Q = \{(\text{paciente paciente}), (\text{paciente dolor}) \dots$
 $(\text{depresión depresión})\}$

Las relaciones restringidas S_1 y S_2 de R_1^∞ y R_2^∞ son:

$$S_1 = R_1^\infty \cap (Q \times Q)$$

$$S_2 = R_2^\infty \cap (Q \times Q)$$

Por lo tanto:

$$S_1 = \{(\text{dolor cabeza})\}$$
 y

$$S_2 = \{(\text{dolor cabeza}), (\text{depresión cabeza})\}.$$

Vemos que las S_j son diferentes del vacío, las parejas indican que hay dos BC (tema 1 y temas 2) que pueden ser consultadas. Nos preguntamos: ¿cuál de las dos bases entrará primero en la consulta?. Tenemos dos alternativas, la primera es considerar las longitudes de las trayectorias de las parejas detectadas usando:

$$L_j = S_j \cap (R_j^\infty - R_j)$$

L_j se usa para ver de qué calidad es el contexto, es decir contexto débil o fuerte, con L_j descartamos todas las bases cuyas parejas detectadas tengan longitud de trayectoria uno, es decir que la información suministrada por el usuario no se considera suficiente con este criterio. Sin embargo, si la información conduce a seleccionar varias BC usando este criterio, entonces debemos poner en una lista las longitudes de las trayectorias de las parejas detectadas por L_j , como son números enteros, se hace un ordenamiento de ellos induciendo un orden de las BC detectadas, ya que cada longitud corresponde a un inventario y por lo tanto a cada BC. Si se tienen números iguales no importa el orden, así que cualquier base es candidata a entrar primero.

Otra manera de poder jerarquizar las BCs, es calculando un parámetro para las BCs, el **factor de relevancia**, como ya se ha explicado éste se calcula del inventario de la BC, y entonces las BCs se pueden ordenar en base a este factor.

Cualquiera de los dos criterios se pueden usar en este ejemplo pues en ambos casos la BC que debe entrar primero en la consulta es el tema 2. Ya que $L_1 = \text{vacío}$ y $L_2 = \{(\text{depresión cabeza})\}$ y la longitud de la trayectoria que inicia en depresión y termina en cabeza es de 0.8, es decir $FR=0.8$ para el tema 2 ya que el factor FR para el tema uno es 0.2, si se

considera la pareja dolor cabeza, este valor se substituye en la tabla tan pronto se calcula y cambia el FR cuando se da otro enunciado fuente.

5.1 Extensión del conocimiento.

Siguiendo el ejemplo propuesto se pueden identificar varios aspectos de esta arquitectura, principalmente la extensión del conocimiento y la comunicación de los SEs instalados o SEs en potencia según la TC, como ya se había mencionado en los capítulos anteriores.

En el ejemplo anterior la base G_2 es la única considerada por el usuario a través de su texto. Ya que todas las bases que puede manejar el sistema general están registradas, ellas tienen asignado un esqueleto (intérprete) con el cual se puede formar un sistema experto relativo a esa base. De esta manera se instala un sistema experto relativo al tema 2. Es decir que $X_1 = S_1(G_2)$, donde S_1 es el intérprete de G_2 .

Una vez instalado el SE relativo al tema 2, éste toma una regla de G_2 y la evalúa. Si la regla es válida revisa la TC y si la encuentra ahí, el sistema general anuncia la comunicación y pregunta al usuario si quiere que se comunique.

Del ejemplo, tenemos, que la primera regla que toma el SE X_1 relativo al tema 2, es $B_1 \wedge B_2 \rightarrow B_3$, y verifica si se encuentra en la TC, si no se encuentra, el SE X_1 instalado sigue adelante, esto es, para B_1 y B_2 verdad se obtiene B_3 , según la regla R_2^1 .

El sistema X_1 ahora toma la regla R_{22} , es decir $D_1 \wedge B_3 \rightarrow D_3$. Esta regla sí se encuentra en la TC. Esta regla contiene un antecedente de otra base lo cual obliga a una comunicación inversa con G_1 y también una comunicación directa con la misma base G_1 , los mensajes son D_1 y D_3 respectivamente en los dos casos.

La TC nos ayuda a determinar qué comunicación se presenta, es decir directa o inversa. Si hay un mensaje para comunicación inversa se indica por RQ. Siempre, lo primero que se efectúa es la comunicación inversa. En este punto es conveniente comentar que también existe la posibilidad de que los datos requeridos, no necesariamente sean consecuentes de otras reglas, lo que ocurre es que los datos inferidos en el momento de la comunicación son los más complejos. Una vez detectada la comunicación se prenden las banderas EST, YFC y ACK indicando que se estableció la comunicación y FCD y FCI nos dicen de qué tipo son, directa o inversa. Ahora el SEC instala la base G_1 para formar un nuevo sistema experto relativo a G_1 .

Los datos (hechos) B_1 , B_2 , D_2 y B_3 son disponibles para el nuevo SE. El SE, $X_2 = S_1(G_1)$ cuya BC es G_1 toma una regla la R_{12} que es la única de G_1 que contiene como consecuente D_1 , ésta es la meta que tiene que confirmar, ya que en la TC, D_1 es un mensaje requerido, así que, X_2 aplicará encadenamiento hacia atrás para determinar el valor de D_1 , y una vez que

lo logre, debe regresar con ese valor al sistema X_1 quien con BC G_2 llamó a X_2 . La secuencia usando encadenamiento hacia atrás es: D_1 se determina con A_3 que a su vez se determina con A_1 y A_2 . Al regresar a X_1 con la BC G_2 se tienen los valores B_3 y D_1 , con los cuales se obtiene D_3 .

Nuevamente el SE X_1 repite el proceso, es decir toma otra regla de G_2 y revisa la TC y ahora encuentra a D_3 como mensaje para G_1 , excepto que la comunicación ahora es directa. El área común de la historia del problema contiene los datos (hechos) obtenidos para todos los posibles SEs que se comuniquen. Hasta el momento la base de hechos es: $\{ B_1, B_2, D_2, B_3, A_1, A_2, C_2, A_3, D_1, D_3 \}$. La comunicación del nuevo SE es $X_2 = S_1(G_1)$. Nótese que G_1 es la BC y S_1 es el intérprete. Los SE X_1 y X_2 tienen el mismo intérprete, ya que la estructura de G_1 y G_2 está organizada en reglas.

5.2 Comunicación de dos o más sistemas expertos

El ejemplo propuesto permitió observar las posibles alternativas de comunicación entre BCs, es decir se mostraron los casos en donde una BC o envía información a otra o requiere información de ella

Se nota que debido a dichos requerimientos se puede pensar que realmente lo que se hizo fue extender el conocimiento de una BC a otra.

De la misma forma se ve que la comunicación entre los SE, X_1 y X_2 es a través de la TC, obsérvese que la comunicación puede darse aún sin que el usuario la haya detectado con su texto de entrada.

Nótese también que hay posibilidades de que no se establezca la comunicación, ya que el SE, por ejemplo X_1 o X_2 , no seleccionen ninguna regla que se encuentre en la TC o bien que no haya comunicación para esos SEs.

La TC contiene dos pilas adicionales, una corresponde a los nombres de los SE que se van instalando y la otra es una copia de la pila del módulo explicativo de cada SE particular formado por las BCs seleccionadas. En la primera pila se guardan los apuntadores a las pilas de cada SE particular, por ejemplo en el caso de los SEs X_1 y X_2 cada uno de ellos tienen una pila (donde almacena su línea de razonamiento), y la segunda almacena los nombres de los SEs instalados por el SEC SIEN.

Una parte interesante de este modelo de comunicación es que el usuario puede construir una TC con los datos que él considere pertinentes y simular con diferentes BCs para hacer interactuar varios SEs como se explica en el capítulo seis. Una vez terminada la sesión se puede salvar la tabla, sin embargo el usuario no puede modificar la TC original del SEC SIEN.

6. EL SISTEMA EXPERTO NODRIZA

La arquitectura del esqueleto del SEC se programó en Micro-PROLOG y se obtuvo un prototipo de SEC llamado Sistema Experto Nodriza (SIEN). Recibió este nombre por las facilidades que el diseño permite para manejar diferentes BC sin afectar su estructura general, y porque cuenta con mecanismos tanto para seleccionar como para comunicar y visualizar una cooperación entre BCs.

En la versión de Micro-PROLOG se incluye una gran variedad de relaciones con las que se le dio mayor vista al ambiente de programación, ya que Micro-PROLOG V.3.1 no cuenta con primitivas para el manejo de color, movimiento de cursor, parpadeo, etc. y por lo cual se tuvieron que elaborar rutinas para salvar estas deficiencias.

A pesar de que el objetivo de la tesis era mostrar todos los detalles del diseño de la arquitectura y no precisamente la programación, se hicieron algunos prototipos para probar que el diseño funcionaba razonablemente bien, aún cuando faltaron algunas pruebas y funciones no implantadas, pero se dejaron por separado para investigaciones posteriores.

Por otra parte, debido a que el SEC acepta un texto como dato inicial, se pensó que adicionalmente para el problema de selección de BCs, era conveniente reflexionar en lo siguiente: dado que el usuario usa un texto para explicar su problema, es posible que en dicho texto se incluyan datos que los SEs en potencia puedan usar, y ya no sea necesario preguntar al usuario nuevamente por ellos. Entonces, es factible extraer información de ese texto para la confirmación de reglas, cuyos átomos son del tipo "preguntables", es decir, que del texto se puedan obtener las respuestas a las preguntas de los SEs en potencia y así, algunos de ellos podrían realizar a partir de esta información su proceso de sustitución de datos por sus variables simbólicas. De esta manera el SE configurado, no pediría más información al usuario, tan sólo la que falte. Sin embargo, aunque se hicieron algunos intentos por extraer los hechos del enunciado fuente que el usuario da para explicar su problema, hubo necesidad de hacer estudios más complejos sobre todo en el tratamiento de sinónimos y diccionarios, por lo que también se deja como un tema de investigación para trabajo futuro. La idea principal es que una vez transformada cada oración del enunciado fuente a un hecho, en un esquema de representación por ejemplo Objeto Atributo Valor, dejarlo disponible para todas las BCs, en el área común, y así, cuando alguna de las BCs lo requiriera ya no preguntara por él.

6.1 Resultados finales

La primera versión del SE SIEN se hizo en el lenguaje Micro-PROLOG V3.1 [Clark, 1985] y se consideró como base principal una máquina inferencial (intérprete) con el modelo de MYCIN [Buchanan, 1985]. En este modelo se usan medidas de creencia para tratar la

incertidumbre. En el SEC SIEN, la incertidumbre se consideró localmente; es decir, en cada BC (tema), y en la versión de prueba no se trató incertidumbre compartida, solamente se hizo el prototipo para ver el funcionamiento del algoritmo de selección de BCs mediante el enunciado fuente del usuario.

Es conveniente comentar acerca de la incertidumbre, porque cuando se tiene un problema de información compartida, la cooperación involucra a nivel de SE información incierta en la mayoría de los casos, se debe considerar el problema además de comunicación con incertidumbre; es decir que una BC puede estar comunicada con otra, pero su nivel de comunicación es incierto o al menos podría haber un cierto grado de incertidumbre, este es un tema de investigación importante que resulta del tratamiento de la comunicación en el SEC.

Por otra parte se tiene que la comunicación se puede establecer a través de mensajes (antecedentes, consecuentes o palabras clave) como ya fue explicado pero, las reglas pueden tener incertidumbre en los átomos, en las reglas o en ambos, así que, cuando se manda o recibe un mensaje las reglas que aparentemente debían ser tratadas, no lo son, y esto podría ocurrir debido a que la BC que reciba el mensaje con incertidumbre puede tener varias reglas que utilicen dicho mensaje y cuando se aplique desvíen o conduzcan a trayectorias que no se esperaban, por causa de la incertidumbre del mensaje. Esto tiene que ver con la sensibilidad de incertidumbre, que es otro tema de investigación. Aunado a estos problemas de incertidumbre se tiene el de la transformación de un modelo de incertidumbre a otro.

Para el caso de varias BCs con el mismo modelo de incertidumbre y la misma representación del conocimiento, el paso de información de una BC a otra, se hace normal, sin pérdida de generalidad, siempre que la incertidumbre en cada SE, se trate de manera local.

6.2 Versión del Sistema Experto Nodriza para PC's

Las versiones del SEC SIEN han sido diseñadas para microcomputadoras personales IBM o compatibles, se han escrito en lenguaje C [Galán, 1990] y en micro-PROLOG [González, 1988], en las primeras versiones no se incluye ni el algoritmo para seleccionar una BC ni la TC para comunicar dos o más BCs, sino un diccionario y el diálogo generado por el SE instalado para la comunicación y solamente se usaban las palabras clave.

Para comprobar que funcionaba el modelo se hicieron algunas pruebas con ejemplos sencillos de BCs hipotéticas sobre desperfectos de autos Zdenek Zdrahal [Zdrahal, 1986] y minerales.

El SEC SIEN utiliza una serie de menús con los que se va guiando al usuario.

La primera pantalla que el programa SIEN muestra al usuario es una donde se despliega

la versión del sistema, la fecha y la hora de la sesión. Posteriormente se pueden seleccionar las opciones que a continuación se muestran en la figura 6.1

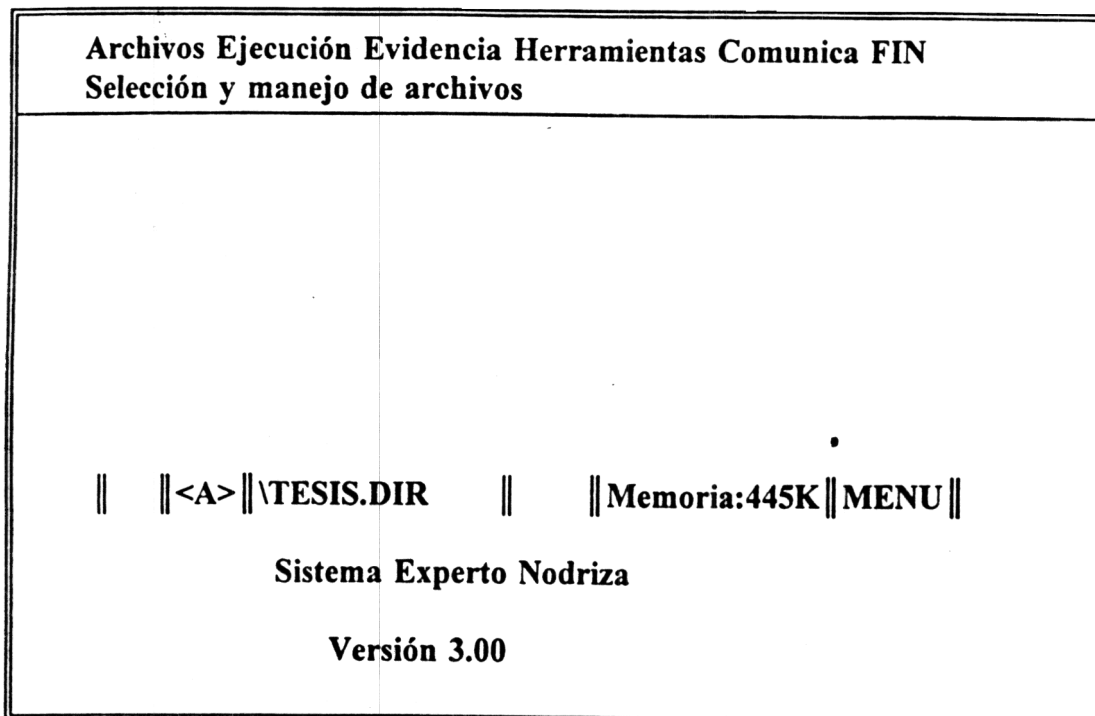


Figura 6.1 Menú principal del Sistema Experto Nodriza.

El SE SIEN despliega información acerca del medio ambiente del programa, indicando qué unidad de disco está activa, la vía de acceso a los archivos, el archivo en uso, y la cantidad de memoria disponible.

Temas de Investigación

Se considera conveniente hacer un resumen de los temas de investigación factibles de llevar a cabo resultado de la investigación en esta tesis. Muy probablemente estos temas conducirían a horizontes quizá más promisorios en los SECs.

1. Dado un conjunto de BCs, asignarle un red semántica a cada una de ellas, en lugar de un grafo dirigido como inventario.
2. Tranferencia de información incierta de una BC a otra.
3. Transformación de un esquema de representación del conocimiento a otro.

4. **Comunicación con incertidumbre; es decir que una BC puede estar comunicada con otra, pero su nivel de comunicación es incierto o al menos podría haber un cierto grado de incertidumbre.**
5. **Dado un conjunto de BCs, integrar otra BC, utilizando enunciados fuente del usuario.**
6. **Desarrollar un mecanismo inferencial para obtener información de las redes semánticas ahora como inventarios e interactuar con ellas desde la BC y reciprocamente.**
7. **Dado que se puede tener comunicación con una o varias BCs, entonces determinar el costo de elegir una trayectoria determinada por la comunicación.**
8. **En relación a los factores de relevancia tratar los casos en donde se involucre el costo como una función de las palabras clave y su relación.**

CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes de este trabajo se pueden citar en tres grandes ramas: la arquitectura de SECs, la Comunicación de BCs, y la Selección de BCs usando un enunciado fuente en lenguaje natural.

En esta gran clasificación se encontró que la arquitectura del SEC se parece a la estructura de un autómata finito, en donde el conjunto de estados se interpreta como el conjunto de BCs, el conjunto de señales como el conjunto de mensajes, la función δ de transición de estados como la TC y el estado inicial, como la j -ésima BC determinada por el usuario usando un enunciado fuente.

La selección de BCs usando el enunciado fuente dió origen a otros problemas que en su mayoría fueron resueltos y otros quedaron como temas de investigación para el futuro. Por ejemplo: "Dado un conjunto de BCs, obtener una nueva BC con elementos de las BCs seleccionadas por el usuario usando enunciados fuente en lenguaje natural, tal que esta nueva BC puede ser comunicada con las otras.

Uno de los resultados importantes fue también la elección adecuada de una BC a tiempo de ejecución. Esto fue posible gracias al factor de relevancia dinámico asignado a cada BC.

De las características principales del SEC es la selección de BCs usando un enunciado fuente en lenguaje natural. En este proceso de selección se determina el FR que jerarquiza las BCs seleccionadas, y se inserta en cada BC contenida en la TC.

Se debe mencionar que la arquitectura del SEC nace de la solución al problema de dividir una BC en fragmentos, esto conduce a la definición de nuevos términos en el ámbito de SEs, como son: las palabras clave, la definición de rozamiento entre BCs, los inventarios que distinguen la semántica de la BC, los factores de relevancia FR, la tabla de comunicación TC, comunicación directa, comunicación inversa y finalmente la comunicación a tiempo de ejecución.

La arquitectura es conceptualizada vía la forma de manejar problemas por los expertos humanos en un dominio de experiencia. Considerando que en un momento dado puedan requerir de resultados emitidos por otros expertos en otros dominios de experiencia o incluso del mismo, se pensó que se debían considerar las BCs en forma fragmentada o genérica, con el fin de hacer por un lado más flexible la utilización de los esquemas de representación de conocimiento y por otro observar que si este modelo funcionaba bien para fragmentos de BCs entonces, funcionaría para BCs completas.

También se comprobó que era factible el acceso a zonas de interés en una BC y además aún cuando no haya una afinidad entre una BC y otra, se puede forzar la comunicación.

Consideraciones importantes en la construcción de BCs se deben tomar en cuenta, sobre todo en la elaboración de los inventarios. Este punto es crucial, ya que de ello dependerá la eficiencia del sistema en el acceso a los temas, y a los valores de los FR's.

Quiero mencionar dos puntos interesantes que se encontraron al hacer el diseño de esta arquitectura. Primero, en relación a la incertidumbre se encontró que se complicaba excesivamente cuando se tiene dependencia entre los temas; sin embargo, al parecer, esta mezcla de incertidumbre corrige desviaciones en la selección de reglas en las BCs que fueron llamadas por otros SEs a través de las inferencias hechas por los SEs construidos previamente. Esto rudimentariamente se puede considerar como un estado de sensibilidad en la incertidumbre. El segundo punto está relacionado con la estructura de datos para controlar las líneas de razonamiento (de expertos X_j), sobre todo cuando se requiere más de un tema en la consulta para un problema. Esto es interesante, ya que se puede aprovechar la técnica de cooperación descrita en esta tesis para combinar distintos tipos de SEs; por ejemplo, los de monitoreo y diagnóstico.

Otro punto interesante de la arquitectura fue la definición y el cálculo de un factor de relevancia dinámico para jerarquizar las BCs por su relevancia, teniendo así, una cooperación es más acertada.

Con arquitecturas de SEC de este tipo, se reduce la complejidad del software utilizado en la solución de problemas, ya que una tarea se puede descomponer en subtarefas cada una de ellas más especializada que a toda la tarea inicial, es decir se puede comparar con una pieza de software estructurado. Otro punto de interés, es que esta descomposición reduce el espacio de búsqueda, minimizando la posible explosión combinatoria. La naturaleza de cada subdominio puede ser emulada con un poco más de exactitud, cuya característica es que en un mínimo facilita la adquisición y el manejo de la BC.

El tratamiento de información incierta o parcialmente incompleta se hace por los SEs relativos a los temas, sin embargo ofrece panoramas de investigación al tratar de compartir información incierta con otros SEs. Finalmente la extensión del conocimiento, nos pone en una situación ventajosa ante problemas que requieren más de un experto para alcanzar una solución. Por otra parte la modelación de los dominios de experiencia parecen ser más flexibles, ya que los intérpretes son independientes del paso de información de un experto a otro (debe notarse que este tipo de SEs no es un sistema con arquitectura de pizarrón). Con la extensión del conocimiento encontramos que es factible el tratamiento de problemas similares a los de prueba y error, simulación de soluciones usando dominios sintéticos, sensibilidad de incertidumbre y otros.

Las ventajas de la arquitectura se pueden citar a continuación: 1) El usuario puede explicar su problema por medio de un enunciado fuente en lenguaje natural a través de un texto, 2) El sistema puede seleccionar las BCs relativas a la semántica del texto del usuario y configurar SEs relativos a ellas, que a tiempo de ejecución requieren de evidencias adicionales durante el proceso o que el usuario desee dar mayor información por medio de

un texto, 3) El sistema puede extender el conocimiento por medio de sus palabras clave con otras bases aún, sin haber sido detectado por el texto del usuario, es decir a tiempo de ejecución, 4) Puede concluir en cada base de conocimiento o en el conjunto de bases de conocimiento y explicar su línea de razonamiento, parcial o total, 5) Puede manejar incertidumbre localmente, es decir, en cada tema, 6) Puede contar con más de un intérprete y con más de un esquema de representación de conocimiento (en este documento sólo se mostró un ejemplo de dos fragmentos de una BC hipotética con el mismo esquema de representación), 7) Cuenta con un protocolo de comunicación para que las BCs puedan comunicarse a tiempo de ejecución, 8) Es útil cuando se tienen muchas BCs, relacionadas con otros procesos y se quiere asignar proceso con conocimiento, 9) Funciona como un supervisor general que sabe qué especialistas resuelven el problema, 10) Tiene facilidad para responder instantáneamente después de recibir el texto del usuario, porque se pueden extraer datos del texto de entrada y repartirlos en todas las BCs seleccionadas (no incluido). Se debe considerar la transformación de datos cuando se tienen diferentes esquemas de representación de conocimiento (no incluido), 11) Puede ser más selectivo en el tratamiento de algún problema, porque sólo usará el conocimiento necesario para dar una solución, y no navegará en grandes bases de conocimiento.

Dentro de las desventajas que se tienen en este sistema se pueden mencionar las siguientes: 1) La incertidumbre entre dos temas está en vías de desarrollo (actualmente se trabaja en forma local, es decir, en cada tema), 2) La comunicación entre dos expertos no es posible porque no son simultáneos, 3) No pueden "platicar" dos sistemas expertos (aquellos detectados por el texto y que se encuentran en la lista de candidatos para la consulta) si no es a través de una tabla de comunicación previamente establecida, 4) El problema de la transformación de datos de un esquema a otro, no ha sido resuelto, 5) Los datos pueden ser compartidos sólo cuando los esquemas de representación de conocimiento son los mismos.

REFERENCIAS

[Armstrong, 1974] Armstrong W., W., (1974): "Dependency Structures of Data Base References". IFIP Conf. Proc. Amsterdam, North Holland. p: 580.

[Agarwal, 1995] Agarwal, R.; De, P. Wells, C. E. (1995): Coopertaive Distributed Problem Solving: An investigation in the domain of jobshop scheduling, Proceedings of the Twenty-Eighth Hawaii International Conference on System Sciences, IEEE Comput. Soc. Press. USA.

[Antunes, 1993] Antunes, P.; Guimaraes, N. Proceedings of the Fourth Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems, pp 143-149, IEEE Compt.Soc. Press. USA.

[Balzer, 1980] Balzer, R., L.D. Erman, P. London, and C. Williams, (1980): "HEARSAY III: A domain-independent framework for expert systems". In AAAI, pp:108-110.

[Bartlett, 1932] Bartlett, F. C., (1932): Remembering: A Case Study in Experimental and Social Psychology, Cambridge, The University Press.

[Beri, 1977] Beri C., Fagin R. and Howard J., H., (1977): "A complete Axiomatization for Functional and Multivalued Dependencies in Database Relations". Proc. ACM SIGMOD. D. C. P. Smith, ed., New York. pp: 47.

[Billard, 1995] Billard, E. A.; Pasquale, J. C. (1995): Probabilistic coalition formation in distributed knowledge environments, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol 25, pp 277-286.

[Bobrow, 1975] Bobrow, Daniel y A. M. Collins, (1975): Representation and Understanding, New York, Academic Press.

[Boden, 1977] Boden, Margaret, (1977): Artificial Inteligence and Natural Man, New York, Basic Books.

[Buchanan, 1985] Buchanan, B. G., and Shortliffe, E.H., (1985): Rule-based expert systems: The MYCIN experiments of Heuristic Programming Proyect, Reading Massachusetts: Adison Wensley.

[Chandrasekaran, 1983] Chnadrsekaran, B. (1983): Towards a taxonomy of problem solving types. AI Magazine, Vol 4, pp 9-17, USA.

[Chandrasekaran, 1984] Chandrasekaran, B., (1984): "Expert Systems: matching techniques to tasks". W. Reitman Ed. Artificial Intelligence Applications for Business. Norwood, New Jersey: Ablex.

[Chandrasekaran, 1986] Chandrasekaran, B., (1986): Generic task in knowledge-base reasoning: high-level building blocks for expert systems design, IEEE expert Vol 1, pp 23-30, USA.

[Chandrasekaran, 1987] Chandrasekaran, B. (1987): Towards a Functional Architecture for Intelligence Based on Generic Information Processing Task, In Proceedings of The International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI, USA.

[Chandrasekaran, 1988] Chnadrsekaran, B. (1988): What Kind of Information Processing is Intelligence? A Perspective on AI Paradigms and Proposal, In Patridge D. and Wilks, Y. (editors), Foundations of AI: A Sourcebook, Cambridge University Press.

[Chang, 1976] Chang C., L., (1976): DEDUCE- A deductive Query Language for Relational Data Bases Pattern Recognition and Artificial Intelligence. New York, Academic Press, pp: 108.

[Chang, 1973] Chin-Liang Chang and Richard Char-Tung Lee, (1973): Symbolic Logic and Mechanical Theorem Proving, Orlando Fla. Academic Press.

[Chiang-Choon, 1991] Chiang-Choon D. P. and Hongjun Lu, (1991): "Multi-domain expert systems", Expert Systems, Vol. 8, may. No. 2

[Cho, 1994] Cho, D.; Kusunoki, F.; Ono, S.; Terano, T. (1994): Developing a multi-agent model for distributed knowledge systems, Proceedings The Second International Conference on Expert Systems for Development, pp 49-54, IEEE Comput. Soc. Press, USA.

[Church, 1956] Church A. (1956): Introduction to Mathematical Logic, Princeton University Press, Princeton.

[Clark, 1984] Clark, McCabe., (1984): micro-PROLOG Programming in Logic, New Jersey, Prentice Hall International.

[Dai, 1993] Dai, H.; Hughes, J. G.; Bell, D. A. (1993): A distributed real-time knowledge-based system and its implementation using object-oriented techniques, Proceedings of International Conference on Intelligent and Cooperative Information System, IEEE Comput. Soc. Press, USA.

[De Paoli, 1994] De Paoli, F.; Tisato, F. (1994): CSDL: a language for cooperative systems design, IEEE transactions on Software Engineering Vol 20, pp 606-616, USA.

[Duda, 1978] Duda, R., Hart, P. E., Nilssen, N.J., Barrett, P., Gaschnig, J., G., Konolige, K., Reboh, R., and Slocum, J., (1978): Development of the PROSPECTOR consultation system for mineral exploration. SRI Report, Stanford Research Institute, 333 Ravenswood Avenue, Menlo Park, CA.

[Dummett, 1973] Dummett, M. (1973): *Frege: Philosophy of Language*, Duckworth, Londres.

[Dummett, 1978] Dummett, M. (1978): *Frege's Distinction Between Sense and Reference*, Duckworth, Londres, pp 116-164. UK.

[Erman, 1980] Erman, L. D., F. Hayes-Roth, V. Lesser, and D. Reddy., (1980): "The HERSAY-II speech-understanding system: Integrating knowledge to resolve uncertainty". Computing Surveys 12, no. 2, pp:213-253.

[Fabiano, 1994] Fabiano, A. S.; Cerri, S. A. (1994): Conceptual driven search among distributed knowledge sources, *Proceedings Sixth International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, pp 594-600, IEEE Comput. Soc. Press, USA.

[Fagin, 1982] Fagin R., (1982 a): "Horn Clauses and Database Dependencies", Journal of the ACM, Vol. 29, No. 4, pp 952-985.

[Fagin, 1983] Fagin R., (1983 b): "Functional Dependecies in a Relational Database and Propositional Logic", IBM J, RES, Develop, pp: 534-544

[Flores, 1986] Flores R., Juan José, (1986): Esqueleto de un Sistema Experto en Microprolog, México, CINVESTAV IPN, Tesis de Maestría.

[Fischer, 1993] Fischer, K. ;Kuhn, N.; Muller, H.J.; Muller, J.P.; Pischel, M. (1993): Sophisticated and Distributed: The transportation domain, *Proceedings, The Ninth Conference on Artificial Intelligence for Applications*, IEEE Comput. Soc. Press, pp 454, USA.

[Frege, 1879] Frege Gottlob (1879): *Begriffsschrift, eine der aritmetischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens*. Halle 1879.

[Frege, 1891] Frege Gottlob (1891): *Function und Bergriff*, Jena, Germmany, (Hay dos versiones una en Inglés Geach P. y Black, M. y otra en español por Moulines C. U. de editorial Ariel Barcelona)

[Frassen, 1971] Van Frassen G., M., (1971): *Formal Semantics and Logic*, New York, Macmillan. pp:

[Gaiti, 1993] Gaiti, D. (1993): Intelligent distributed systems: New trends, *Proceedings of the Fourth Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems*, IEEE Comput. Soc. Press, pp 106-111, USA.

[Galán, 1990] Galán, J. Francisco, (1990): SIEN: es un "Shell" de Sistemas Expertos Múltiples, México, CeNac-IPN, Tesis Maestría.

[Girgensohn, 1994] Girgensohn, A.; Redmiles, D.F.; Shipman, F.M., III (1994): Agent-based support for communication between developers and users in software design, Proceedings. The Ninth Knowledge-Based Software Engineering Conference, IEEE Compt. Soc. Press, pp 22-29, USA.

[González, 1986] González, H., Manuel, (1986): "Skeleton for an expert system with knowledge base stratified in themes", En: Congreso Internacional del IEEE Sección México, MEXICON 86, MEX040.

[González, 1987] González H., Manuel, (1987): "Estructura Básica de Un Sistema Experto de Multiesqueleto", En: Congreso Internacional del IEEE, Sección México, MEXICON87, MEX026.

[González, 1988a] González H., Manuel, (1988a): "SIEN: Prototipo de un sistema experto en Microprolog", En: Congreso Nacional de Computacion. Pasado Presente y Futuro de la Computación en México. UNAM.

[González, 1988b] González, H., Manuel, (1988 b): "Diseño de un Sistema Experto de Multiesqueleto", En: V Reunión Nacional de Inteligencia Artificial, Mérida Yuc. México. pp: 207-220.

[González, 1989a] González, H., Manuel, (1989 a): "División de una Base de Conocimientos en Temes", En: VI Reunión Nacional de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial, Querétaro, Qro. México, pp: 431-451.

[González, 1989b] González, H., Manuel, (1989 b): "Extensión del Conocimiento Usando Sistemas Expertos de Multiesqueleto", En: Congreso Internacional del IEEE Sección México, MEXICON89, MEX030.

[González, 1989c] González, H., Manuel, (1989 c): "SIEN: Es un Sistema Super Experto", En: Primer Congreso Nacional de Informática para la Ingeniería, Asociación Mexicana de Informática para la Ingeniería, Cuernavaca, Morelos. pp:

[González, 1990] González H., Manuel y Maldonado S., Tomás, (1990): Extensión de Micro-PROLOG. Informe Técnico, Serie Azul No.1, México, CeNaC-IPN.

[González, 1990a] González, H. Manuel, (1990 a): "Sistemas Expertos Múltiples", En: Segundo Congreso Iberoamericano de Inteligencia Artificial, Asociaciones de Inteligencia Artificial de Portugal, España y México, Morelia Michoacán, pp:

[González, 1990b] González, H. Manuel, (1990 b): "Selección de Bases de Conocimiento Usando Grafos Dirigidos", En: Congreso Internacional de Ingeniería LATINCON90 del IEEE. Monterrey N.L.

[González, 1991] González, H. Manuel, Galán, J. F. y González, C. J., (1991): "SIEN: Es un "Shell" de Sistemas Expertos Múltiples que Recibe un Texto de Entrada", En: Congreso Latinoamericano de Informática, Caracas Venezuela. pp:493-507.

[Hadj, 1994] Hadj Kacem, A.; Soubie, J.L.; Frontin, J. (1994): From conventional KBS to cooperative KBS: control model, Proceedings The Second International Conference on Expert Systems for Development, IEEE Comput. Soc. Press, pp 12-17, USA.

[Hamada, 1993] Hamada, T.; Kamejima, K.; Tsuchiya, M. (1993): Real-time cooperative image processing for interactive environment understanding, Proceeding of the IECON '93 International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, IEEE Vol 3, pp 1785-1790. USA.

[Hayes-Roth, 1983] Hayes-Roth, F., Waterman, D. A., and Lenat, D., (1983): Building Expert Systems. Reading, Massachusetts, Addison Wesley.

[Higginbotham, 1989] Higginbotham, J. (1989): Frege, Concepts and the Design of Language, en Villanueva E., Information, Epistemology and Semantics, Basil Blackwell-SOFIA, Oxford, UK.

[Haugeland, 1982] Haugeland John, (1982): "The mother of intention", Nous, xvi, pp: 613-619.

[Haugeland, 1985] Haugeland John, (1985): Artificial intelligence, the very idea, MIT press.

[Husserl, 1913] Husserl, Edmund, (1913): Ideas: General Introduction to pure Phenomenology, Londres, George Allen & Unwin.

[Ishida, 1993] Ishida, T. (1993): Towards organization problem solving, Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation, IEEE Comput. Soc. Press, vol. 3 pp 839-845, USA.

[Jenkins, 1994] Jenkins, D. (1994): Designers using cooperative knowledge, IEE Colloquium on 'Issues of Co-operative Working in Concurrent Engineering', IEE, p 8/1-3, London, UK.

[Kawamura, 1994] Kawamura, T.; Saito, Y.; Kaneda, Y. (1994): Multi-agent programming language based on distributed multi-workstation systems, Proceedings of 1994 IEEE Region 10's Ninth Annual International Conference, Theme: Frontiers of Computer Technology, IEEE, Vol. 1, pp 61-66, USA.

[Kitamura, 1993] Kitamura, Y.; Zheng Bao Chauang; Tatsumi, S. Okumoto, T.; Deen, S.M. (1993): A cooperative search scheme for dynamic problems, Proceedings. International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Systems Engineering in the Service of Humans, IEEE, Vol. 5, pp 120-125, USA.

[Kuroda, 1994] Kuroda, T.; Hoshino, Y.; Seki, H. (1994): ^A communication efficiency evaluation of multi-agents with short-term memory, Proceedings. 3rd IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, IEEE, pp 317-322, NY, USA.

[Kolman, 1986] Kolman B. Bushy R., C., (1986): Estructuras de Matemáticas Discretas para la Computación, New York, Prentice-Hall Hispanoamericana.

[Kowalski, 1979] Kowalski, R., (1979): Logic for Problem Solving, New Yor, North Holand.

[LeClair, 1989] LeClair S., R., (1989): "A Multiexpert Paradigm for Acquiring New Knowledge", En: SIGART Newsletter, Number 108, Knowledge Acquisition Special Issue, pp 34-44.

[López, 1987] López L., Aurelio, (1987): Herramientas para construir Bases de conocimiento, México, CINVESTAV-IPN, Tesis de Maestría.

[Maier, 1983] Maier, D., (1983): The theory of Relational Databases. New York, Computer Science Press.

[McCarthy, 1969] McCarthy, John and Pat Hayes, (1969): "Some Philosophical Problems from the Standpoint of Artificial Intelligence". En: Melzert and Michie, 1969.

[Melzert, 1969] Melzert, B. and D. Michie, eds, (1969): Machine Intelligence, vol. 4, Edinburgo, Edinburgo University Press.

[Minsky, 1974] Minsky Marvin, (1974): "A framework for Representing Knowledge", MIT AI lab., Memo, num. 306.

[Minsky, 1972] Minsky Marvin and Seymour Papert, (1972): "Progress report on Artificial Intelligence", MIT AI Lab, Memo Num. 252.

[Miikkulainen, 1994] Miikkulainen, R. (1994): Integrated connectionist models: building AI systems on subsymbolic foundations, Proceedings. Sixth International Conference on Tools with Artificial Intelligence, IEEE Comput. Soc. Press, pp 231-232, USA.

[Morita, 1993] Morita, T.; Aramaki, S.; Kagekawa, K. (1993): A knowledge representation for communication between robots, Proceedings. 2nd IEEE International Workshop on Robot and Human communication, IEEE, pp 308-313, NY,USA.

[Musliner, 1993] Musliner, D.J.; Durfee, E.H.; Shin, K.G. (1993): CIRCA: a cooperative intelligent real-time control architecture, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 23, pp 1561-1574, USA.

[Nii, 1979] Nii, H. P., and N. Aiello., (1979): "AGE (Attempt to Generalize): A knowledge-based program for building knowledge-based programs". In IJCA 6, pp. 645-655.

[Okada, 1993] Okada, T.; Kuroda, T.; Hoshino, Y.; Shintani, T.; Seki, H.; Itoh, H.; Law, T. (1993): An evaluation of multi-agent-behavior in a sensing communication world, Proceedings 2nd IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, IEEE, pp 302-307, NY, USA.

[Oliveira, 1991] Oliveira, R. E. y Camacho, R., (1991): "A shell for cooperating expert systems", Computer IEE, May 1991, Vol. 8, No.2.

[Pardue, 1993] Pardue, D. Mark, (1993): "Use of Cooperating expert system for real-time fault detection and correction in a manufacturing cell", Computers Elect. Engng. Vol. 19, No 2. pp: 103-112.

[Roos, 1990] Roos K., A. and Writ C., R. B., (1990): Matemáticas Discretas, 2 ed. New York, Prentice-Hall. pp:

[Sagiv, 1981] Sagiv Y., Delobel C., Parker D., S. Jr. and Fagin R., (1981): "An equivalence between relational database dependencies and fragment of propositional logic". Journal of the ACM, Vol. 28, No.3, pp: 435-455.

[Schweiger, 1994] Schweiger, J. (1994): Facilitating teamwork of autonomos systems with a distributed real-time knowledge base, Proceedings International Conference on Robotics and Automation, IEEE Comput. Soc. Press, Vol 4, pp 2883-2888, USA.

[Shortliffe, 1976] Shortliffe, E., (1976): Computer-Based Medical Consultations:MYCIN, Elsevier, New York.

[Silverman, 1988] Silverman, B., G., Hexmoor, H., H., Rastogi, R. and Chang, J., (1988 a): Distributed expert systems:FACILITY ADVISOR, expert system applications to telecommunications, Ed. Jay Liebowitz, New York, Serie, Wiley Series in Telecommunications, pp 305-329.

[Silverman, 1989] Silverman, B., G., Wening, G., R., and Wu, T., (1989 b): "COPEing with ongoing knowledge acquisition from collaborating hierarchies", SIGART Newsletter, Number 108, Knowledge Acquisition Special Issue, pp 170-171.

[Simpson, 1975] Simpson T. M. (1975): Formas lógicas, realidad y significado, EUDEBA, Argentina, 2a. ed.

[Sommerville, 1993] Sommerville, I.; Rodden, T. (1993): Environment for cooperative systems development, Proceedings Software Engineering Environments, IEEE Comput. Soc. Press, pp 144-155, USA.

- [Sugawara, 1993] Sugawara, T. (1993): Using action benefits and plan certainties in multiagent problem solving, Proceedings. The Ninth Conference on Artificial Intelligence for Applications, IEEE Comput. Soc. Press, pp 407-413, USA.
- [Strawson 1973] Strawson, P.F. (1973): On referring, in *Mind*, vol. LIX, versión español con título "Sobre el referir", ed. Siglo XXI.
- [Tacquard, 1993] Tacquard-Choulet, C.; Baptiste, P. (1993): MUCO: a cognitive system for problem solving based on self-organization: a 'multi-agents' implementation with blackboard, Proceedings International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Systems Engineering in the Service of Humans vol 4 IEEE, pp 131-136, USA.
- [Taleb-Bendiab, 1994] Taleb-Bendiab, A. ; Brandish, M.J. (1994): A high-level mechanism for intelligent cooperative systems, Second International Conference on 'Intelligent Systems Engineering', IEEE, pp 360-365, UK.
- [Ullman, 1982] Ullman, J., D., (1982): Principles of Database Systems. USA, Computer Science Press.
- [Valdivia, 1989] Valdivia L, (1989): Introducción a la Semántica y Ontología de Gottlob Frege, UNAM, México.
- [Valdivia, 1985] Valdivia L. (1985): Lo indecible y sus raíces categoriales en la teoría de Frege, en: I Simposio Hispano-Mexicano de Filosofía, Salamanca España, pp 297-315.
- [Waltz, 1982] Waltz, David, (1982): "Artificial Intelligence", Scientific American, 247:4 pp:118-133.
- [Winston, 1975] Winston, Patrick, (1975): The Psychology of Computer Vision, New York, McGraw-Hill.
- [Wolf, 1989] Wolf, W., A., (1989): "Knowledge acquisition from multiple experts", SIGART Newsletter, Number 108, Knowledge Acquisition Special, Issue, pp 138-140.
- [Wong, 1993] Wong S.C.T. (1993): COSMO: a communication scheme for cooperative knowledge-based systems, IEEE transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol 23, pp 809-824, USA
- [Zdrahal, 1985] Zdrahal, Zdenek, Marik, Vladimir, Garza-Ayala, S, (1985): "Fel Expert and its applications", En: congreso IEEE, 86MEX37, Guadalajara, México.