

## **Comunicación de Sistemas Expertos**

**Manuel González Hernández, Phd<sup>1</sup>, Adolfo Guzmán Arenas, Phd<sup>2</sup>, Juan Carlos Seck Tuoh Mora, Phd<sup>3</sup>**

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo<sup>1</sup>  
Centro de Investigación Avanzada en Ingeniería Industrial  
Carretera Pachuca Tulancingo Km. 4.5 Tel. (771) 72000 Ext. 6733, [mghdez@uaeh.edu.mx](mailto:mghdez@uaeh.edu.mx)

Instituto Politécnico Nacional<sup>2</sup>

\*Centro de Investigación en Computación, CIC Building. Unidad "López Mateos". Miguel Othon-de-Mendizabal and Juan-de-Dios-Batiz.  
Col. Zacatenco. 07738 México DF, México. Phone: +52 (55) 5729 6000 ext. 56569; fax ext. 56507 [aguzman@cic.ipn.mx](mailto:aguzman@cic.ipn.mx)

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo<sup>3</sup>  
Centro de Investigación Avanzada en Ingeniería Industrial  
Carretera Pachuca Tulancingo Km. 4.5 Tel. (771) 72000 Ext. 6733, [jseck@uaeh.edu.mx](mailto:jseck@uaeh.edu.mx)

### **Resumen**

Se presenta un protocolo de comunicación para Sistemas Expertos, que consiste de una matriz de elementos de bases de conocimiento, la primera fila de la matriz contiene los nombres de los registros que describen el contenido del estado de la comunicación. En las siguientes filas se colocan elementos de las bases de conocimiento y sus nombres con los que existe una comunicación potencial. Un supervisor examina la matriz de comunicación o Tabla de Comunicación (**TC**), verificando el estado de las banderas de los registros señalados por la primera fila. Es conveniente mencionar que solamente se considero bases de conocimiento estructuradas en reglas de inferencia, aunque no es una restricción. El objetivo principal de este trabajo es mostrar la factibilidad de comunicación generando así, una arquitectura de Sistemas Expertos Cooperativos (**SEC**). La arquitectura de los SECs resuelve problemas que requieren información compartida que proviene de diferentes Bases de Conocimiento (**BC's**). Para resolver el problema de cooperación, la arquitectura propuesta permite establecer una comunicación entre una o más BC's empleando los antecedentes o consecuentes de una regla o información relativa a las bases de conocimiento en cuestión. La idea es comunicar las BC's en el momento que el SEC "solicite" la comunicación a tiempo de ejecución. A la fecha se han modelado diversos Sistemas Expertos (**SE's**) para resolver el problema de comunicación entre ellos, pues es importante en 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 o más de un dominio de experiencia. También en algunas ocasiones es necesaria la información de procesos en ingeniería cuyos resultados a tiempo de ejecución son de gran valor en SE's y que por varias razones no se encuentran en las BC's. En el problema de comunicación entre SE's se han empleado generalmente arquitecturas de pizarrón, que consisten básicamente de un área de trabajo común a todos los SE's 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 con relación al concepto de comunicación. La comunicación entre SE's involucra una gran variedad de temas de investigación al tratar de establecer un intercambio de información entre ellos. Las publicaciones sobre el tema son verdaderamente escasas y las que existen, sólo muestran resultados parciales. Integrar interacción y cooperación en el desarrollo de sistemas basados en conocimiento ha crecido en los últimos años y los hechos "interacción" y "cooperación" son características de SE's cooperativos.

Palabras clave: Comunicación de Sistemas Expertos, Sistemas expertos, Bases de conocimiento

## Introducción

El objetivo principal es presentar una alternativa en la comunicación de los Sistemas Expertos (SE's). Se puede decir que con esta propuesta se tiene un buen acercamiento en la solución de problemas con información compartida que proviene de diferentes Bases de Conocimiento (BC's).

Para resolver el problema de cooperación, se requiere de una arquitectura de SE's con la cual se pueda establecer una comunicación entre BC's [González Hernández M, 1995]. Dicha arquitectura tiene la facilidad de recuperar información de BC's relativas al problema en cuestión. La idea es comunicar las BC's en el momento que el Sistema Experto Cooperativo (SEC) "solicite" la comunicación a tiempo de ejecución.

Hasta la fecha se han modelado diversos SE's para resolver el problema de comunicación, pues ello contribuye 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 o más de un dominio de experiencia. También en algunos casos conviene contar con fuentes de información de varios procesos para exportar datos a BC's que se requieren en otros SE's y que por alguna razón no vienen incluidas en las BC's.

Resolver el problema de la comunicación de SE's induce a la simulación de procesos que requieren de dominios de experiencia múltiple [Monge, 2003].

En el problema de comunicación entre SE's se han empleado generalmente arquitecturas de pizarrón [Hayes-Roth, 1983], que consisten básicamente en el área de trabajo común a todos los SE's formados con diferentes bases de información, las cuales son independientes unas de otras. El pizarrón puede ser borrado o modificado.

La comunicación entre SE's es un problema que involucra una gran variedad 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 [Hadj, 1994]

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 SE's cooperativos.

En [González Hernández M. 1991] se trata el problema de cooperación usando un enunciado fuente que el usuario usa como dato inicial para situarse en una vecindad de la BC, 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 se les llamó **temas** [González Hernández M. 1990a]. Un **tema** es un texto o asunto sobre el que versa un discurso, realmente es conocimiento estructurado y genérico, así que una BC se consideró como un tema.

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 de primera generación [Shortliffe, 1976] [Duda 1978] [Buchanan 1985] trata de confirmar una meta. También con estas zonas surgió la idea de comunicar dos o más BC's 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 BC's para resolver problemas de dominio de experiencia múltiple [González Hernández M. 1989].

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 premisas o conclusiones (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 incluida (como si estuviera incrustada) en otras BC's de otras divisiones, por lo que a la unión de todas las BC's de cada división se le llamó **base de conocimiento estratificada en temas** [González Hernández, 1995].

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.

La incógnita de cómo colocarse en la vecindad mencionada de la BC a través del enunciado fuente, se resolvió mediante palabras características (se encuentran en los elementos de las BC's) 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 identificaron 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.

El texto del usuario se utiliza para seleccionar los temas o BC's que serán empleadas para la consulta. Para situarse o seleccionar un tema se asignó un conjunto de Parejas de **Palabras Clave**, llamado **inventario**. Este conjunto es una relación binaria, y por lo tanto tiene asociado un grafo dirigido que hace más fácil observar las relaciones entre las palabras clave. Así, el inventario es un grafo dirigido de palabras clave [González Hernández M., 1990b]. Es factible que se pueda asignar como inventario a cada tema una red semántica en lugar del grafo dirigido, pero eso es otro tema de investigación y no será discutido aquí.

## 1 Objetivo

El objetivo general de este trabajo, es comunicar dos o más sistemas expertos, sin embargo el problema se puede establecer como la comunicación de dos o más bases de conocimiento para el tratamiento de un problema o de otra manera: "Dado un conjunto de bases de conocimiento, estructuradas en reglas y un esqueleto para manipularlas, ellas se puedan comunicar.

La comunicación entre dos sistemas expertos, con bases de conocimiento ajenas, o de diferentes dominios, presenta el mismo esquema excepto que se tienen que programar los puntos de contacto que permitan a tiempo de ejecución la comunicación.

## 2 Sistemas Expertos Cooperativos

Los Sistemas Expertos Cooperativo (SEC) se caracterizan porque su arquitectura es menos monolítica que los SE de primera generación, pues tratan con diferentes bases de conocimiento para la solución de un problema. Existen algunos trabajos sobre este tipo de SEC [C. Zhan, 1992, Fabiano, 1994, Jenkins, 1994], pero hasta la fecha no se ha encontrado en la literatura uno que tenga las características de compartir información a tiempo de ejecución, principalmente cuando se trabaja con varias bases de conocimiento, seleccionadas de acuerdo a la información que un usuario suministra como dato de entrada en lenguaje natural.

Formalmente la definición del problema resulta ser:

**Hipótesis:** Dados: un enunciado fuente **T** en lenguaje natural y un dominio de experiencia en la forma  $G=\{G_1,G_2,\dots,G_n\}$ , en donde:

$$G_i = \langle BH, BR \rangle$$

$BH = \{H_1, H_2, \dots, H_m\}$  es la base de hechos y

$BR = \{r_1, r_2, \dots, r_k\}$  es la base de reglas

los elementos  $r_i$  con  $i=1,k$  tiene la forma:

$$A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_m \rightarrow B$$

siendo  $A_1, A_2, \dots, A_m, B$ , literales es decir, fórmulas atómicas

Además para cada  $G_i \subset G$  se tienen asociados dos parámetros  $I_i$  y  $FR_i$  [González Hernández, 1995]. El primero es un grafo dirigido cuyos nodos son **palabras clave** y cuyos arcos representan cantidades de un valor que el experto humano les asigna y que se le ha llamado Factor de Relevancia (FR), a este grafo se le llamó **inventario**. El segundo parámetro  $FR_i$  es un **factor de relevancia dinámico** que mide la importancia de la BC. El valor del factor de relevancia se encuentra implícitamente en el inventario de la BC. Las palabras clave distinguen a las bases de conocimiento  $G_i$  dependiendo de su género. Por ejemplo, la palabra "amortiguador" indicará en este contexto que se trata de una base de conocimiento relacionada con la suspensión.

**Meta:** Se debe encontrar un subconjunto  $Y=\{G_1, G_2, \dots, G_k\}$ , tal que  $Y \subset G$ , con  $k \leq n$ , los elementos de  $Y$  son soluciones potenciales de  $T$ . Además con cada  $G_j \in Y$  se debe configurar un  $SE_j$ . Toda deducción de  $G_j \in Y$  estará disponible en el área de trabajo común para todos los  $SE$ 's. La comunicación entre las BC's se hará vía una matriz de transición ( protocolo de comunicación).

Una vez definido el problema formalmente debemos seguir una estrategia para su solución, la cual consiste en identificar los pasos para determinar el subconjunto  $Y \subset G$ . Esto es, por medio de un enunciado fuente en lenguaje natural seleccionar una o varias  $G_j$ 's del conjunto  $G$ , (o bien en caso de no contar  $G$  como conjunto de bases de conocimiento, sino con los nombres de los archivos de los sistemas expertos, que fueron identificados por el usuario como los candidatos a intervenir en la consulta). Al final el algoritmo para la comunicación en esencia es el mismo.

Así el proceso es el siguiente: determinar las palabras clave, las cuales pueden o no pertenecer a la base de conocimientos, sin embargo sí deberán identificar las bases correspondientes para la consulta. Con las palabras clave se construye cada inventario que se asocia a cada base de conocimiento y consiste de una relación binaria que se representa con un grafo dirigido, y con el cual se identifica cada elemento  $G_j \in G$ . Finalmente se determinan las  $G_j$ 's seleccionadas en forma jerárquica según su importancia usando el factor de relevancia FR. Esto se hace para cada enunciado fuente, con el que se inicia el proceso.

Las **palabras clave** son un medio importante para el manejo de la comunicación entre dos BC's, 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 BC's 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 BC's; y la segunda es aplicar algoritmos de división a BC's.

La razón principal de tratar el problema de la división de BC's 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 un 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.

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 se le ha 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 BC's). Y se define más adelante. Nótese que el conjunto rozamiento no es la intersección de las BC's.

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 BC's. 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.

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.

El **rozamiento** establece conocimiento afin entre BC's principalmente aquellas de la misma área. Por ejemplo, enfermedades del corazón y del pulmón, también existen relaciones que favorecen la comunicación de BC's con procesos.

### 2.1 Rozamiento entre bases de conocimiento

En el tratamiento de información compartida es de interés saber cuando dos BC's 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 BC's se le ha llamado **rozamiento**. Se debe notar que si las BC's están estructuradas en reglas de inferencia (por ejemplo en lógica de primer orden), se pueden encontrar reglas con variables que se sustituyen con hechos 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  $G_2$  BC's, siempre que las variables de algunas de las reglas en  $G_1$  se deduzcan, algunas variables de las reglas en  $G_2$  son evaluadas y que como resultado de esto se obtengan hechos en común en ambas BC's. O También algunos hechos de  $G_1$  son relativos a algunos objetos referidos de  $G_1$  en  $G_2$ .

Es decir sean,  $G_1$  y  $G_2$  bases de conocimiento estructuradas en reglas de producción, y sean  $Q_1$  y  $Q_2$  conjuntos definidos como sigue:  $Q_1 = \{ c_i | c_i \text{ consecuente de } r_j \in G_1 \}$  es el conjunto de consecuentes de reglas en  $G_1$  y  $Q_2 = \{ a_i | a_i \text{ antecedente de } r_j \in G_2 \}$  es el conjunto de antecedentes de reglas en  $G_2$ , entonces, el **rozamiento**  $\rho$  está definido como el conjunto de reglas que comparten o un antecedente o un consecuente según el caso, esto es:

$$\rho = \{ r_j | q_i \in r_j \text{ y } q_i \in (Q_1 \cap Q_2), \text{ siendo } q_i \text{ un consecuente o antecedente} \}$$

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**  $\rho^\circ$  es dado por la cardinalidad (CARD) de  $\rho$ , es decir, es el conjunto de reglas con la propiedad de **rozamiento**:

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

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.

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 BC's. La dependencia o independencia (bases ajenas) también puede ser vista tratando a los elementos del conjunto **rozamiento** como restricciones en una base de datos.

De la unión de los conjuntos  $Q_1 = \{ c_i | c_i \text{ consecuente de } r_j \in G_1 \}$  y  $Q_2 = \{ a_i | a_i \text{ antecedente de } r_j \in G_2 \}$ , encontramos un conjunto R que consiste de todas las reglas señaladas por los elementos de  $Q_1 \cup Q_2$ . Nótese que el concepto de rozamiento no es exactamente la intersección de conjuntos.

La dependencia de las BC's será considerada cuando el conjunto  $\rho \neq \emptyset$ , 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  $G$ " [Sagiv, 1981] [Fagin 1982] [Fagin 1983]. El algoritmo de resolución unitaria de Chang [Chang, 1976], se puede emplear para mostrar que existe o no dependencia funcional.

### 3 Comunicación de sistemas expertos

La comunicación entre SE's 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 SE's de primera generación, sobre todo cuando los diálogos preestablecidos 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 SE's 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 figura 1, exhibe la arquitectura de un esqueleto para comunicar sistemas expertos.

Para establecer la comunicación de las BC's se construyó una matriz  $C_{ij}$  en donde la primera columna contiene las reglas de inferencia que son factibles de comunicación, la segunda y la tercera son los mensajes que pueden ser directos o indirectos, la cuarta y quinta contienen las BC's emisora y receptora, posteriormente las columnas seis en adelante indican el estado de la comunicación.

Los elementos básicos para la comunicación entre dos o más SE, se muestran en la siguiente matriz de la tabla 1, que sirve como un protocolo de comunicación.

Tabla 1. Matriz  $C_{ij}$  o protocolo de comunicación.

| Reglas                | Mensaje |        | Emisor                    | Receptor                  | Quién es?              | Estado de la comunicación |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------|---------|--------|---------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                       | SD      | R<br>Q |                           |                           |                        | FCD                       | FCI | FCU | SIU | EST | YFC | ACK | CSE |
| $A_3 \rightarrow D_1$ | $D_1$   |        | $\langle G_1, FR \rangle$ | $\langle G_2, FR \rangle$ | $\langle G, X \rangle$ | 1                         | 0   | 0   | 0   | OFF | 0   | 1   | 0   |

El significado de cada uno de los elementos de la tabla 1 es el siguiente:

**Reglas:** son reglas o elementos de la BC que permiten la comunicación y que definen el rozamiento. Por ejemplo:  $A_3 \rightarrow D_1$  es una regla del ejemplo de la tabla 4.2, 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.

**Quién es?:** Captura el nombre de la base de conocimiento y el nombre del sistema experto comunicado

**FR:** indica la relevancia de la BC (tema). FR es un número que puede estar entre 0 y 1, donde cero significa irrelevante y 1 significa relevante, los puntos intermedios dan la importancia del tema.

**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 éste 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 BC's  $G_1$  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.

**CSE:** indica que hubo comunicación con un Sistema Experto.

Para observar mejor la comunicación entre BC's considere dos BC's  $G_1$  y  $G_2$  y su tabla de comunicación, con cada uno de los elementos citados anteriormente.

|                                       |                                      |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Conjunto $G_1$                        | Conjunto $G_2$                       |
| R1 : $A_1 \wedge A_2 \rightarrow A_3$ | R1: $B_1 \rightarrow D_1$            |
| R2 : $A_2 \rightarrow B_1$            | R2: $D_1 \wedge B_1 \rightarrow D_2$ |
| R3 : $A_3 \wedge B_1 \rightarrow C_1$ | R3: $D_2 \wedge D_3 \rightarrow D_4$ |

Tabal 2. Matriz Cij o matriz de transición que efectúa la comunicación entre dos o más bases de conocimiento

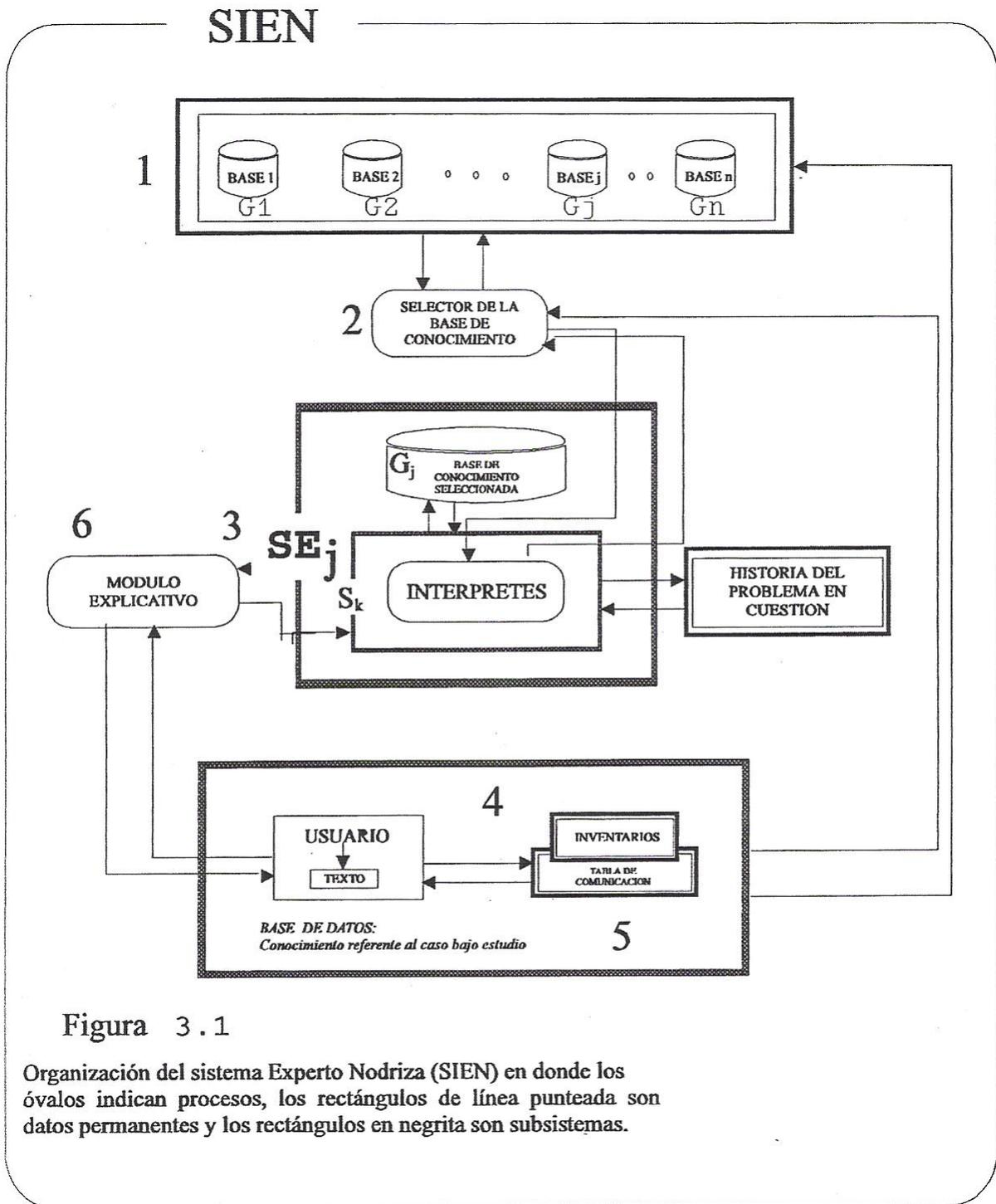
| Reglas   | Mensaje |       | Emisor   | Receptor   | Quién es?              | Estado de la comunicación |     |     |     |     |     |     |     |
|--|---------|-------|--|--|------------------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  | SD      | RQ    |  |  |                        | FCD                       | FCI | FCU | SIU | EST | YFC | ACK | CSE |
| $A_2 \rightarrow B_1$<br>$B_1 \rightarrow D_1$ | $B_1$   | $B_1$ | $\langle G_1, FR \rangle$<br>$\langle G_2, FR \rangle$ | $\langle G_2, FR \rangle$<br>$\langle G_1, FR \rangle$ | $\langle G, X \rangle$ | 1                         | 0   | 0   | 0   | ON  | 0   | 1   | 0   |
|  |         |       |  |  |                        |                           | 1   | 0   | 0   | OFF | 0   | 0   | 0   |

Es notorio el hecho de que una vez que se tiene comunicación entre BC's 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 BC's 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 figura 1 muestra la arquitectura de un (SEC).

La arquitectura que se vio corresponde a la de un SEC. Actualmente el interés en los investigadores por crear un patrón de SEC ha crecido y se han publicado artículos mostrando diferentes intentos para establecer dicho patrón, el consenso 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]. Aquí se estableció una arquitectura que puede manejar varias BC's y configura un SE de primera generación con cada una de ellas y 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 matriz o Tabla de Comunicación (**TC**) que se establece previamente indicando qué BC's se comunican y qué tipos de mensaje se envían o reciben, la selección de las BC's 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 cuáles de las BC's escogidas son más importantes, esto se efectúa dinámicamente por medio de un Factor de Relevancia (**FR**) que se obtiene del enunciado fuente.

El diseño de la arquitectura del SEC se debe a la solución del problema de particionar una BC en fragmentos, esto conduce a la definición de nuevos términos usados en este trabajo en el ámbito de SE's, como son: las palabras clave, la definición de rozamiento entre BC's, 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.



**Figura 3.1**

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

Figura 1. Arquitectura de un sistema experto cooperativo con la cual se puede establecer comunicación

Consideraciones importantes en la construcción de BC's 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.

Es conveniente mencionar que de acuerdo a la arquitectura mostrada en la figura 1, existe un supervisor que está monitoreando la tabla de comunicación cada vez que un sistema entra en función, e investiga dependiendo de las acciones que el sistema experto instalado quiere deducir o resolver, así que cada vez que toma una regla de su base de conocimiento el sistema instalado, el supervisor verifica si está registrada en la tabla de comunicación, en caso de estarlo, inicia el protocolo de comunicación con esa

regla. Los resultados que se obtengan por la comunicación serán incluidos en un área común a todos los expertos que se comuniquen. Por ejemplo supongamos que se inicia el proceso y que se instala un sistema experto  $X_1$ , una regla de su BC será investigada por el supervisor, si se encuentra en la TC, de otra forma sigue su ejecución en la consulta, sin embargo si se encuentra la regla seleccionada por  $X_1$  en la TC, se establece la comunicación de acuerdo a los registros de la TC. Si por el contrario el usuario decide ver la TC y comunicar con algún otro sistema vía la BC, también es válido y posible. Suponiendo que de alguna manera aparece  $X_2$  sistema experto comunicado, entonces el supervisor hará lo mismo con cada una de sus reglas de la BC de  $X_2$ , es decir verificará si se tiene alguna comunicación en la TC, de otra manera continuará con su consulta. En el momento que se presenta  $X_2$ , como SE, en la TC se prende una bandera que indica que hubo comunicación no debido a reglas registradas sino a intervención del usuario u otro medio, dicha bandera se apagará cuando el sistema  $X_2$  regrese el control al SE  $X_1$ .

La forma en que  $X_2$  regresa el control a  $X_1$ , se efectúa por medio de la TC, puesto que en ella se registró la comunicación por  $X_1$ , el supervisor indicará al usuario la acción a seguir, es decir si permanece  $X_2$ , o se regresa el control a  $X_1$ , sin embargo el supervisor seguirá comprobando cada regla que los SE's traten de confirmar. Si el usuario decide regresar a  $X_1$ , el supervisor apagará la bandera que indicaba comunicación con  $X_1$ .

Un punto crucial que se debe que mencionar es que el SEC tiene una pila en donde se colocan los sistemas expertos comunicados para explicar su línea de razonamiento, de la misma forma que cada SE pone en una pila las reglas confirmadas para explicar su línea de razonamiento. Un punto definitivamente complejo es la incertidumbre y no será tratado en este documento.

## Conclusiones

La comunicación entre bases de conocimiento se hizo vía un protocolo de comunicación que consistió en una tabla o matriz de transición en donde se registraron tanto los mensajes requeridos o enviados y las bases que lo solicitaron.

La comunicación a tiempo de ejecución entre dos sistemas expertos es por medio de la tabla de comunicación y un supervisor que atiende la llamada o solicitud del sistema que requiere comunicación.

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 SE's 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.

El FR es el principio de una métrica de 'cercanía' entre una BC y el enunciado fuente en lenguaje natural que el usuario utiliza para plantear su problema, por lo que resulta interesante saber que tan 'cerca' se encuentra uno de una base con un texto dado y que tanto con otro.

## Referencias

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

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

[**C. Zhan, 1992**] C.Zhang, (1992). Cooperation under Uncertainty in Distributed Expert Systems, Artificial Intelligence. Vol.56. pp.21-69.

[**Duda, 1978**] Duda, R., Hart, P. E., Nilsson, 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.

[**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 Dependencies in a Relational Database and Propositional Logic", IBM J. RES. Develop., pp: 534-544
- [**González Hernández M., 1989**] González Hernández., Manuel, (1989 b): "Extensión del Conocimiento Usando Sistemas Expertos de Multiesqueleto", En: Congreso Internacional del IEEE Sección México, MEXICON89, MEX030.
- [**González Hernández M., 1990a**] González Hernández, Manuel, (1990 a): "Sistemas Expertos Múltiples", En: Segundo Congreso Iberoamericano de Inteligencia Artificial, Asociaciones de Inteligencia Artificial de Portugal, España y México, Morelia Michoacán.
- [**González Hernández M., 1990b**] González, Hernández, Manuel, (1990 b): "Selección de Bases de Conocimiento Usando Grafos Dirigidos", En: Congreso Internacional de Ingeniería LATINCON90 del IEEE. Monterrey N.L.
- [**González Hernández M., 1991**] González, Hernández, 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.
- [**González Hernández M., 1995**] González Hernández, Manuel. "Desarrollo de un esqueleto para manejar bases de conocimiento estratificadas en temas" Tesis Doctoral Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, México, CINVESTAV-IPN.
- [**Hayes-Roth, 1983**] Hayes-Roth, F., Waterman, D. A., and Lenat, D., (1983): **Building Expert Systems**. Reading, Massachusetts, Addison Wesley.
- [**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.
- [**Monge, 2003**] Monge, P. R., & Contractor, N. S. (2003). Theories of Communication Networks: Oxford University Press.
- [**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.
- [**Shortliffe, 1976**] Shortliffe, E., (1976): **Computer-Based Medical Consultations:MYCIN**, Elsevier, New York.

#### **Authorization and Disclaimer**

Authors authorize LACCEI to publish the papers in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.