

CRITERIOS DE SELECCION PARA LAS FORMAS DE REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO

Elena Pérez Miñana, Alejandro Teruel (1)

RESUMEN: El análisis de los conceptos fundamentales asociados a la representación del conocimiento en el computador permiten evidenciar la dependencia que existe entre las formas de representación del conocimiento y los tipos de un área de aplicación. Para alcanzar el objetivo deseado se hizo una revisión general de las distintas formas de representación del conocimiento que se han venido utilizando en el campo de la Inteligencia Artificial. También se realizó un estudio de las diferentes áreas de aplicación de los Sistemas Basados en el Conocimiento (SBC). Estos dos estudios permitieron proponer un conjunto de esquemas de selección que ayudarán a los diseñadores de SBC a identificar las formas de representación más apropiadas para SBCs específicos.

I.-Introducción

El área de SBC ha venido desarrollándose a pasos agigantados en los últimos años. Hoy en día el analista/programador encargado de desarrollar un SBC se encuentra con una multitud de formas de representación del conocimiento (FRC), entre las cuales se incluyen guiones, procedimientos, lógicas de las más variadas especies, encuadres, redes semánticas, reglas de producción y hasta bases de datos relacionales. Cada una de estas formas de representación tiene sus idiosincracias en cuanto a la naturalidad con que logra capturar clases de conocimiento y en cuanto a la facilidad y eficiencia con que se le logra implementar en un computador. Seleccionar una o más de esas FRCs se ha convertido en un problema no trivial, cuyo impacto en el éxito futuro del SBC a desarrollar es crítico.

En el presente trabajo se propone un esquema de selección de FRCs basado en el tipo de conocimientos que se deseen que el SBC maneje. La propuesta deberá tomarse como un rico conjunto de conjeturas cuya comprobación empírica será el sujeto de futuras investigaciones en el área.

El esquema propuesto está basado en una clasificación pragmática de los tipos de conocimiento, de manera que el analista/programador del SBC no requiera de un dominio profundo del campo de la Epistemología.

(1) Profesores del Departamento de Computación y Tecnología de la Información de la Universidad Simón Bolívar.

Para ello se ha partido de una clasificación de las áreas en las que se aplican los SBC, basada en los trabajos de Gevarter (1987), Chandrasekaran (1987), Bonnet (1984) y Waterman (1984). La clasificación considerada se muestra en la tabla 1.

ACTIVIDAD	PROBLEMA QUE INTENTA RESOLVER
PERCEPCION	CAPTACION Y PROCESAMIENTO DE LAS SEÑALES RECIBIDAS DEL MUNDO EXTERIOR
PROCESAMIENTO DEL LENGUAJE NATURAL	COMPRESION Y GENERACION DE FRASES.
CLASIFICACION	SELECCION DE UNA CATEGORIA DE ENTRE UN CONJUNTO PRE-FUADO DE CATEGORIAS EN BASE A LAS CARACTERISTICAS DEL OBJETO A CLASIFICAR.
DIAGNOSIS	IDENTIFICACION DE LAS CAUSAS DEL MAL FUNCIONAMIENTO DE ALGUN OBJETO
PLANIFICACION	DEFINICION DE UNA SECUENCIA DE ACCIONES QUE DEBE SEGUIRSE PARA LOGRAR ALGUN OBJETIVO DADO.
SCHEDULING	ORDENACION DE ACTIVIDADES Y RECURSOS PARA OBTENER UNA RESPUESTA EN TIEMPO MINIMO.
DISEÑO	GENERACION DE LA CONFIGURACION DE DISTINTOS TIPOS DE OBJETOS QUE SATISFAGAN UN CONJUNTO DE RESTRICCIONES PREDEFINIDO EXISTEN TIPOS SEGUN EL NIVEL DE CREATIVIDAD
MONITOREO	OBSERVACION CONTINUA DE UN CONJUNTO DE OBJETOS CON CON LA FINALIDAD DE CHEQUEAR QUE LOS MISMOS RESPON- RESPONDEN SIEMPRE DE LA FORMA ESPERADA.
CONTROL DE PROCESOS	CONTROLA EL COMPORTAMIENTO DE UN CONJUNTO DE PROCESOS QUE REALIZAN ALGUNA TAREA. SE DIFERENCIA DEL MONITOREO POR LA POSIBILIDAD DE DETERMINAR ACCIONES A APLICARSE A LOS OBJETOS DE LA CALLE.
ENSEÑANZA	SELECCION Y APLICACION DE UNA ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA A PARTIR DE PARAMETROS DE EVALUACION QUE DEFINEN EL PERFIL DE UNOS ESTUDIANTES PARA HACERLES ENTENDER ALGUN BLOQUE DE CONOCIMIENTO ESPECIFICO.

Areas de Aplicación de SBCs

Tabla 1

Al llegar a un nivel suficientemente específico de clases de conocimiento es relativamente fácil analizar las bondades y deficiencias de cada FRC para representar la clase considerada. Así por ejemplo, la lógica proposicional es relativamente inaplicable para representar conocimientos operacionales (definidos en la parte III) en los que el tiempo y el medio circundante son factores determinantes, como es el caso de todo el conjunto de partes operativas en

una situación de combate.

El esquema de selección de la(s) FRC es relativamente sencillo y consta de los siguientes pasos:

- a.-Identificar el área de aplicación al que pertenece el SBC.
- b.-Seleccione los tipos de conocimiento que se deben representar.
- c.-Seleccione para cada tipo de conocimiento a representar las FRC más apropiadas.
- d.-Intersecte los conjuntos de FRCs hallados en el paso anterior para obtener el FRC más adecuado.

En el último paso pueden ocurrir dos casos de consideración:

- d.1.-La intersección es vacía. En este caso puede:

*Bajar el umbral de aceptación de FRCs en el paso (c), o

*Desarrollar un SBC que incluya más de un tipo de FRC.

- d.2.-La intersección produce más de un FRC. En este caso se puede:

*Subir el umbral de aceptación de FRCs en el paso c, o

*Escoger alguno de esos FRC en base a otros criterios (e.g. el dinamismo del conocimiento), o

*Desarrollar prototipos de SBC para evaluar la bondad de los FRCs rivales.

El resto del trabajo está fraccionado de la siguiente manera: la Parte II expone la clasificación del conocimiento utilizada, la Parte III esquematiza la bondad de las diferentes formas de representación consideradas para representar los tipos de conocimiento definidos, la Parte IV presenta los conceptos fundamentales aplicados en la definición de los esquemas de selección, la parte V se expone un ejemplo en el que se especifica la forma de evaluación utilizada para obtener los resultados asociados a la planificación y que refleja el proceso de evaluación seguido con todas las AG presentadas en la tabla 1 (Pérez-Miñana 1990), en la parte VI se exponen las conclusiones a las que se llegaron con esta investigación y los posibles desarrollos futuros en este campo.

II.-Clasificación del conocimiento utilizada

Visualizando el conocimiento como un objeto genérico, sin puntualizar si es o no de un tipo en particular, el mismo está compuesto de dos partes fundamentalmente:

a)Un conjunto de hechos.

b)Un grupo de formas para interpretar esos hechos.

El primer elemento es el clave en esta investigación, ya que lo que se busca son esquemas que

permitan tipificar las formas de representación, elemento estructural de la base de conocimientos. El grupo de formas de interpretación se refleja de dos formas en los SBC:

- a) La forma en que las unidades básicas de información están relacionadas en la base de conocimientos (los hechos).
- b) La máquina de inferencia, otro de los elementos que deben definirse al desarrollar un SBC.

Esta división elemental pone de manifiesto el hecho de que, en el momento de decidir cuál es la forma de representación que más conviene utilizar para un tipo de conocimiento en particular, se deben tomar en consideración no sólo la primera de las partes señaladas, sino también los elementos que influyen en la interpretación de los mismos; sin esto las unidades básicas se convierten en simple información y se pierde la noción de conocimiento, puesto que lo que hace a la información conocimiento es precisamente la posibilidad de interpretación.

Un rasgo adicional del conocimiento que debe tomarse en cuenta, pues de lo contrario se pierde la esencia del mismo, es su dinamismo. Esto puede captarse de dos formas:

- a) Soportando el crecimiento y variación del nivel de creencias del conjunto almacenado en la base de conocimientos (no-monotonicidad, incertidumbre).
- b) Incluyendo formas de representar el tiempo en todos los elementos incluidos en la base.

Precisando todo lo expuesto, los tipos de conocimiento considerados son:

***Descripción de objetos:** los componentes principales del mundo, deben conocerse a partir de ciertas características (p.e. señales sensoriales) para poder interactuar con ellos. El conjunto de características asociadas a determinados elementos deben permitir, en todo momento puntualizarlo. Considerando que todo objeto constituye un ente distinguible, y que por si mismo resulta ser un sistema, se le puede describir desde las mismas perspectivas que a un sistema, lo cual genera en este tipo de conocimiento una subdivisión adicional, a saber:

a-Descripción cualitativa de objetos: es la más utilizada, por lo menos durante los primeros años de vida de cualquier ser humano. Está asociada directamente a las señales percibidas a través de los sentidos, o a las conceptualizadas para distinguir los objetos imaginarios (e.g. una manzana es dura, tiene una depresión de color blanco, es de color rojo o verde).

b-Descripción funcional de objetos: relación entre entradas y salidas, sin tomar en cuenta la descripción estructural (i.e. interna) del objeto.

Permite responder al tipo de pregunta ¿Qué función ejerce?. Es un tipo de conocimiento empleado al realizar una tarea de monitoreo por ejemplo, ya que continuamente se analizan si las salidas de los distintos procesos evaluados son las esperadas.

c-Descripción operacional de objetos: describe el mecanismo interno a partir del cual un objeto es capaz de satisfacer la función que efectúa (e.g. al usar una máquina de refrescos, las monedas que se insertan son detectadas y evaluadas por el mecanismo detector de monedas que suma el total al que corresponden para verificar que se ha introducido el cambio correcto y así sucesivamente). Es un tipo de conocimiento requerido para efectuar una diagnosis, por ejemplo.

d-Descripción de manipulación de objetos: describe como usar un objeto, como se comporta sin tomar en consideración su mecanismo interno (e.g. para manejar una máquina de refrescos se deben seguir los siguientes pasos: introducir el cambio señalado, presionar la tecla que contiene el nombre del refresco deseado, esperar a que la máquina seleccione la lata y la entregue a través del conducto de salida).

Además de las características propias de cada elemento según el tipo de descripción que se utilice, cualquiera de los tipos mencionados incluye la relación que entre las partes existe, relación que en el caso de la descripción cualitativa es de pertenencia, en los otros casos se puede considerar de funcionalidad. Este tipo de relaciones permiten generar un conjunto inicial de interpretaciones que, posteriormente, pueden modificarse en presencia de otras relaciones que forman parte del conocimiento y que se describirán a continuación.

***Conocimiento de Interpretación:** permite generar nuevas reglas a partir de las cuales se pueden producir nuevas conclusiones que son importantes en el proceso de resolución de problemas, actividad para la cual el uso del conocimiento es clave. Puede subdividirse de la siguiente forma:

a-Restricciones: en general una restricción puede definirse como un conjunto de condiciones que deben satisfacerse para poder efectuar algún proceso, para ejecutar determinada acción, o para considerar que un elemento pertenece a determinada clase. El último corresponde a las inherentes, son las características asociadas a cualquier elemento y son necesarias para poder afirmar que pertenece a una clase en particular. Los dos primeros comprenden el conjunto de condiciones entre los distintos "objetos" que

interesa considerar, más precisamente, entre los estados de esos objetos.

- b-Relación Causa-Efecto:** permite determinar los causantes del mal funcionamiento de un objeto, por ejemplo. Se utiliza a menudo en conjunto con la descripción operacional y funcional de objetos. Es un tipo de relación que normalmente asocia objetos de distintas clases (e.g. bacterias, enfermedades).
- c-Heurísticas:** comprende el conjunto de reglas que cualquier ser humano utiliza en su tarea de resolución de problemas cuando no conoce con exactitud la manera de proceder. Puede ser de tipo genérico (e.g. característica más relevante de una situación) o asociada a un problema en particular (e.g. estrategia de enseñanza).
- d-Reglas para modelar objetos:** permite a cualquier ser humano integrar todas las señales sensoriales percibidas para armar el modelo mental del objeto que está percibiendo, elemento a partir del cual podrá trabajar en sus procesos cognoscitivos posteriores.

Todos los tipos de conocimiento arriba mencionados se ven afectados por una característica adicional del conocimiento que resulta ser uno de los aspectos más difíciles de capturar en un computador, se hace referencia al dinamismo. Este aspecto se hace evidente a través de los distintos grados de creencia que se asocia a los trozos básicos de alguno de los tipos arriba mencionados y a la variación que éstos sufren en el tiempo.

III.-Bondad de las formas de representación con los tipos de conocimiento

Cada forma de representación del conocimiento (FRC) tiene asociada determinadas características que la hacen particularmente conveniente para almacenar uno o unos tipos de conocimiento en el computador.

Las FRC consideradas en este trabajo fueron: los procedimientos, los triples $\langle O, P, V \rangle$, las bases de datos relacionales, las bases de datos semánticas, las redes semánticas, los encuadres, los guiones, las reglas de producción, la lógica de primer orden, la lógica no-monotónica, la lógica modal, la lógica temporal y la lógica difusa.

Excepto por las lógicas no convencionales todas las otras formas de representación funcionan en forma adecuada para distintos tipos de conocimiento, siempre y cuando, los mismos no incorporen un grado de dinamismo que las haga ineficientes y los mecanismos de interpretación asociados sean efectivos. El dinamismo depende en cierta forma del área de aplicación. En ese caso las lógicas no convencionales son las que resultan ser más adecuadas. Se debe señalar que de

todas las formas de representación las reglas de producción han resultado ser bastante atractivas en varias ocasiones debido a que intentan soportar el dinamismo del conocimiento en formas que las otras FRC no consideran.

Por último debe señalarse que el hecho de que una FRC no se considere adecuada no quiere decir que no se pueda utilizar, simplemente se desea indicar la poca utilidad que puede obtenerse al usarla.

En la tabla 2 se presenta el resultado de la evaluación realizada. Las columnas de la tabla corresponden a los tipos de conocimiento y las filas a las FRC. Cada posición contiene un valor en el rango (1,5), que significa: conveniente (5), poco conveniente (4), regular (3), poco útil (2), mala (1). En la tabla se muestran dos valores en cada casilla, el valor de la izquierda indica la conveniencia de representación sin tomar en cuenta el dinamismo del conocimiento, el valor de la derecha representa la conveniencia si se toman en cuenta las características dinámicas del conocimiento. La barra doble divide los tipos de conocimiento de descripción de objetos de los tipos de mecanismos de interpretación.

FRC / TC	DCO	DFO	DMO	DOO	REST	CA-EP	HEUR	RMO
PROCEDIMIENTOS	1/1	3/1	3/1	3/1	1/1	1/1	1/1	4/1
BDA RELACIONAL	3/1	1/1	1/1	1/1	2/1	2/1	1/1	1/1
BDA SEMANTICA	4/2	3/2	2/1	2/1	2/2	3/2	1/1	2/2
TRIPLES <O,P,V>	3/1	1/1	1/1	1/1	1/1	2/1	1/1	1/1
ENCUADRES	4/3	2/2	2/2	2/2	2/2	3/2	1/1	1/1
GUIONES	1/1	3/1	2/1	2/1	2/1	1/1	1/1	1/1
REDES SEMANTICAS	4/2	3/2	2/1	2/1	2/1	3/2	1/1	2/2
REGLAS DE PRODUC.	2/4	2/3	2/3	2/3	4/4	4/4	4/3	2/3
LOGICA DE 1er ORDEN	3/1	2/1	2/1	2/1	4/1	3/1	3/1	1/1
LOGICA NO-MONOT.	2/4	2/3	2/3	2/3	3/4	2/3	3/3	1/2
LOGICA TEMPORAL	1/3	1/3	1/3	1/3	2/4	2/3	2/3	1/2
LOGICA DIFUSA	1/3	1/3	1/3	1/3	2/4	2/3	3/4	1/2
LOGICA MODAL	2/3	2/3	2/3	2/3	3/4	2/3	3/3	1/2

FORMAS DE REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO vs. TIPOS DE CONOCIMIENTO

Tabla 2

IV.-Esquemas de selección

Se han identificado distintos tipos de conocimiento, se ha evaluado la bondad de cada forma de representación para simular cada tipo de conocimiento en

forma aislada. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que, ninguno de estos tipos trabaja en forma independiente en la mente humana. Por lo tanto, para poder evaluar en realidad la conveniencia del uso de cada forma, se deben buscar maneras de agruparlos que resulten lógicas dentro de todo el proceso de investigación seguido. Es por esa razón, que se decidió considerar conjuntos de procesos que el ser humano realiza con bastante frecuencia y que se han intentado simular a través de los SBC. Cada grupo se reconoce porque es usado para algún tipo de objetivo en particular, pero un objetivo que no resulte ser demasiado específico como para hacer el análisis inútil. Por ello se utilizaron las actividades genéricas (AG) expuestas en la tabla 1, en la misma tabla se asocia a cada una de ellas una breve definición.

Cualquier ser humano al realizar alguna AG emplea ciertos tipos de conocimiento. El análisis a partir del cual se detectaron los tipos usados sigue la estrategia definida por Chandrasekaran (1987), quien considera que en cualquiera de ellas se deben identificar los siguientes elementos:

- a) Los tipos genéricos de información que constituyen las entradas y salidas del sistema.
- b) Los trozos básicos de conocimiento del dominio.
- c) Los elementos de control de la actividad.

Estos tres elementos permiten definir los componentes de información a partir de los cuales se genera y procesa el conocimiento que cualquier AG requiere para poder ejecutarse adecuadamente.

Los resultados, presentados en la Tabla 3, son de la forma (FRC, tipos de conocimiento) construida asignando a cada posición de la tabla un número entero del conjunto (1, 3, 5, 7, 9, 10) que representa la efectividad de cada FRC para manejar el tipo de conocimiento al que está asociado por la posición de la tabla. Dado que no se puede decir que una FRC no funciona para un tipo en particular sólo se asocian grados de conveniencia, es decir que a una FRC más adecuada para representar un tipo de conocimiento se le asignará uno de los valores del rango mencionado, el grado de efectividad es mayor si el valor asociado es alto, por lo tanto la mínima efectividad está representada por el número 1 y la máxima por el valor 10.

Seguidamente se muestra un ejemplo con el cual se representa, el tipo de razonamiento seguido para la definición de los tipos de conocimiento asociados a cada AG y las FRC que resultan ser más convenientes para construir la base de conocimientos de un SBC definido con el objetivo de realizar dicha actividad.

V.-Ejemplo práctico

La AG planificación, es un proceso de selección a partir del cual se obtienen un conjunto de acciones de un dominio complejo de alternativas, intentando satisfacer los

objetivos del usuario (Gevarter 1987), (Waterman 1984). Ejemplos de sistemas que efectúan esta actividad son: SBC definidos con el objetivo de generar planes para aplicar una serie de reacciones químicas a un grupo de sustancias básicas sintetizando compuestos orgánicos complejos; un sistema de planificación de estrategias de ataque aéreo; un sistema para la definición de planes de ensamblaje mecánico con el uso de robots.

Si se efectúa un análisis del conocimiento empleado en la actividad de planificación, siguiendo la estrategia definida por Chandrasekaran (1986) y los distintos SBC desarrollados para efectuarla, los elementos de información que se deben manejar son los siguientes:

- (1) Entradas y salidas del sistema: las entradas comprenden los objetivos que el usuario desea satisfacer. Los mismos pueden ser: un compuesto orgánico complejo (Sowa 1984); la necesidad de destruir determinado objetivo en un ataque aéreo, TATR (Callero 1984); el ensamblaje de algún equipo eléctrico utilizando robots (Chang 1988). Los objetivos son formas de conocimiento que se pueden representar en cualquier dominio como metas, esto es como resultados finales. En cualquier caso, la salida se compone de un conjunto de acciones ordenadas que al aplicarse satisfacen con bastante efectividad los objetivos deseados. El conjunto de acciones es ordenado porque frecuentemente la ejecución de una acción en particular depende de los resultados obtenidos de la ejecución de una operación anterior.
- (2) Los trozos básicos de conocimiento que se necesitan para efectuar esta actividad son:
 - a) El conjunto de acciones contenidas en un plan deben ser efectuadas por algún objeto del dominio, y sobre algún objeto del mismo, por lo tanto, se debe tener conocimiento de todos los objetos que de alguna manera actúan en el mundo; en el caso de un sistema de ataque aéreo, el mismo debe saber las características de los distintos aviones y armamentos que están disponibles, así como, en la medida que sea posible, debe conocer la distribución geográfica de la fuerza enemiga (Callero 1984); si el sistema está dirigido a la planificación de las operaciones de ensamblaje, el mismo debe saber la estructura de las distintas piezas a ensamblar y la relación de dependencia que existe entre una y otra (Chang 1988), además, debe conocer las propiedades y rasgos de cada componente;
 - b) Las operaciones que pueden efectuarse en el dominio en el que se está desarrollando el SBC; muchas de ellas están bastante bien definidas y forman parte de los principios fundamentales del dominio de trabajo, muchas otras, sin embargo, constituyen acciones que un experto ha definido en el transcurso de sus años de trabajo

(Chang 1988); e.g., en el sistema de ensamblaje este conocimiento comprende todas las operaciones de ensamblaje que puede ejecutar un robot; a nivel de un sistema de acción militar, constituye todas las acciones con las que se pueden mermar las fuerzas del enemigo, las estrategias militares que se aprenden al formar parte de distintos batallones.

- (3) La información de control con la que debe contar un SBC para poder planificar efectivamente está constituida por restricciones y heurísticas. Las primeras suceden porque la ejecución de una determinada operación muchas veces imposibilita la aplicación de otra, o hace poco productivos los resultados que se pueden obtener al efectuarla. Estos datos ayudan enormemente a reducir el espacio de búsqueda, pues, el conjunto de operaciones constituye por sí solo un dominio bastante grande y la posibilidad de reducirlo en un tiempo corto ayuda mucho a aumentar la eficiencia del sistema. No sólo existen restricciones que se generan automáticamente al presentarse determinada situación, además existen situaciones en las que no conviene aplicar determinadas operaciones, por la poca productividad que se tiene al efectuarlas; la presencia de este tipo de situaciones sugiere la necesidad de incluir las heurísticas en la base de conocimientos, información a partir de la cual se puede decidir cual es el conocimiento que más conviene utilizar.

Los tipos de conocimiento que se acaban de definir permiten satisfacer de una manera bastante completa los requerimientos generales de una tarea de planificación (Chang 1988), (Franklin 1983). Algunos sistemas pueden, adicionalmente, incluir información sobre planes que son muy utilizados en el dominio de aplicación, esto con la finalidad de reducir el tiempo de búsqueda.

Dados los tres componentes de información que debe contemplar el diseñador de un SBC, se puede concluir que los tipos de conocimiento que maneja un individuo al efectuar la tarea de planificación son: descripción funcional y cualitativa de los objetos del dominio incluyendo información sobre la relación que existe entre los mismos en lo que se refiere a los planes posibles; definición de todas las operaciones que pueden efectuarse al desarrollar cualquier plan en el área de aplicación, ésta debe incluir los objetivos finales que pueden lograrse al ejecutarla; por último, una descripción de las restricciones o relaciones de dependencia que existe entre las diferentes operaciones y heurísticas para manejar el proceso de selección. En la tabla (FRC vs tipos de conocimiento de la planificación) se muestra, en forma resumida, la relación que existe entre las distintas FRC y los tipos de conocimiento considerados en

cuanto a efectividad de representación.

T(FRC, TC)	DESCRIP. OBJ. FUNCIONAL, CUALITATIVA	OPERACIONES	RESTRICCIONES/ HEURISTICAS
PROCEDIMIENTOS	5	5	1
BD.RELACIONAL	3	1	1
BD SEMANTICA	9	7	3
ENCUADRES	9	7	1
GUIONES	3	9	1
REGLAS	3	3	9
REDES SEMANT.	9	5	3
T. <O,P,V>	3	5	1
LOGICA 1er Orden	3	3	5
LOGIC.NO-MONOTON	7	7	7
LOGICA DIFUSA	7	5	7
LOGICA TEMPORAL	3	3	3
LOGICA MODAL	5	5	5

FRC VS. CONOCIMIENTOS DE LA ACTIVIDAD DE PLANIFICACION

A continuación se expone el análisis a partir del cual se obtuvieron los resultados de la tabla.

1) Descripción de objetos

La planificación requiere conocer con bastante precisión los elementos sobre los que se debe actuar, o con los que se puede actuar; de los primeros interesa la descripción cualitativa porque a través de ella es que se puede determinar la relación de los objetos con los planes, de los segundos interesa la descripción funcional porque es así que se puede inferir si son útiles para algún plan en particular, no sólo interesan las características particulares de cada elemento, también, si existe algún tipo de relación entre los mismos, el SBC debe estar al tanto de que existe esta asociación, lo cual se logra a través de las restricciones y de las operaciones. Las FRC más adecuadas para este caso son: los encuadres, redes y bases de datos semánticas, lo cual se observa en los siguientes artículos (Gevarter 1987), (Waterman 1986), (Chang 1988), para dominios pequeños los triples <O,P,V> las bases de datos relacionales son suficientes; por ejemplo en el sistema de planificación de las operaciones de ensamblaje que efectúa un robot (Chang 1988), usando encuadres se puede obtener rápidamente la relación de dependencia que existe entre las partes de un equipo, la cual resulta ser básicamente jerárquica, y que a nivel de ensamblaje es importante para poder elaborar el plan de construcción que debe seguir cualquier robot para armar un

equipo. Si se considera el desarrollo del sistema BATTLE (Slagle 1985), (Franklin 1988), la relación que existe entre los objetos no es, como en el caso anterior, de dependencia jerárquica, pues lo que se desea saber es el estado de cada una de las armas, información que se obtiene asignando valores a un conjunto de atributos, conociendo de esta manera la efectividad que tiene cada una de ellas para destruir los distintos armamentos con los que cuentan las fuerzas enemigas; este tipo de relación es de efectividad (capacidad de destrucción) de todos contra todos, luego no puede reflejarse adecuadamente con una estructura jerárquica; pero las redes semánticas y las bases de datos semánticas constituyen estructuras con las que resulta bastante eficiente representar relaciones de este tipo, de hecho en el sistema BATTLE esta información se representa utilizando una variante de las redes semánticas.

Un componente de información, que en algún momento puede resultar importante, es el tiempo, factor éste, muy bien manejado con la lógica temporal.

Los guiones (scripts) y los procedimientos no presentan características que faciliten realmente la representación del mismo en un computador, por lo menos a nivel de la descripción cualitativa de objeto, pero los procedimientos pueden resultar convenientes en la descripción funcional.

2) Información de las operaciones

Es el conocimiento de todas las posibles acciones que pueden efectuarse en un dominio de aplicación. Debe incluir, no sólo conocimiento de las acciones en sí, además debe saber, de alguna manera, en qué situaciones puede aplicarlas y cuáles son los resultados que obtendrán luego de ejecutarlas. Una acción no es un elemento aislado, es una forma de interactuar con el mundo exterior, con la finalidad de modificarlo para lograr el objetivo que se persigue; por lo tanto, además de la definición de cada acción, el sistema debe estar al tanto de cómo las mismas interactúan entre sí, qué objetos del dominio pueden ayudar a efectuarla y debe poder determinar la conveniencia de aplicarla en una situación en particular, esta última información depende de una gran cantidad de factores a los que no se les puede asignar un valor con un cien por ciento de seguridad, por lo tanto, requiere manejar esta imprecisión o incertidumbre.

El conjunto de todas las posibles acciones constituye, aún en los dominios más sencillos (un juego de ajedrez por ejemplo), un complejo universo que probablemente no pueda definirse completamente en los dominios extensos, por lo tanto, la solución por la que han optado muchos de los investigadores al desarrollar este tipo de sistemas (Chang 1988), (Slagle 1985), (Duda 1979) consiste en incluir un dominio de operaciones que hayan considerado completo a través de diferentes estudios, y un conjunto de heurísticas,

o factores, que permitan definir una combinación de operaciones cuyos resultados sean los más eficientes.

El uso de procedimientos y guiones (scripts) a nivel de la descripción de las operaciones pueden resultar convenientes, por lo menos en lo que se refiere a las descripciones de las primitivas pero el resto del conjunto sólo puede manejarse con otra FRC. Las bases de datos relacionales y la lógica de primer orden resultan poco convenientes.

La dependencia que hay entre las distintas operaciones se representa con facilidad utilizando las redes semánticas o las bases de datos semánticas. En la primera cada nodo de la misma puede representar un plan, subplan u operación en particular, los arcos conectarían al nodo en cuestión a aquellos nodos que representan las posibles acciones que pueden ejecutarse una vez efectuada la acción correspondiente al nodo padre (Slagle 1985); la información asociada a cada nodo y a cada arco puede resultar ser bastante compleja, porque corresponde no sólo a las características particulares de cada operación (efectos, objetivos que satisface por ejemplo), además debe tener asociados todos aquellos factores que los expertos consideran que deben chequearse, y los mismos deben modificarse cuando corresponda y por las razones que así lo ameriten; las bases de datos semánticas son más flexibles luego más adecuadas.

Junto con la estructura de las operaciones deberá existir otra, bajo la forma de aserciones o predicados lógicos que contendrá todas las heurísticas aplicables incluyendo reglas sobre los nodos de la red en los que cada una debe actuar. Esto se representa con las formas lógicas o las reglas de producción.

Por último, falta considerar los triples <O,P,V>; esta forma de representación es utilizada en el sistema BATTLE (Slagle 1985) como estructura que contiene los trozos de información que deben transmitirse entre los nodos; resulta ser bastante adecuada porque el número de factores que considera importantes son solo 55, y el número de funciones que utiliza para propagar información de un nodo a otro hace que esta información sea bastante manejable usando los triples.

3) Descripción de las restricciones

Ayuda principalmente a relacionar todos los elementos del conjunto de conocimiento requerido. Se necesita, fundamentalmente, para resolver conflictos empleando la información contenida en las restricciones, como sucede en el SBC definido por los investigadores Chang y Wee (1988). Las restricciones pueden ser datos asociados a los objetos o las operaciones del dominio de aplicación resultado de la aplicación de determinadas heurísticas definidas por los expertos. Muchas veces una acción en particular es suspendida temporalmente hasta que las variables que tiene

asociadas no toman algún valor. La forma de representación que más naturalmente se adapta para su definición resultan ser las reglas de producción o, las distintas lógicas; cada objeto u operación en su descripción debe contener un bloque que indique qué restricciones deben satisfacerse en un momento en particular, junto con las variables cuyos valores indican precisamente que se ha satisfecho una determinada condición. Estas condiciones puede suceder que no sean las mismas en todos los objetos y que para cada objeto varíen de una situación a otra, luego, resulta más conveniente definir las condiciones bajo una forma lógica con la cual se refleje esta situación, que es lo que sucede con las lógicas modal y no-monotónica, aunque el concepto de mundos posibles de la lógica modal parece ser más apropiado.

Las otras formas de representación existentes no están conceptualizadas con el objetivo de definir condiciones, de la forma descrita luego no pueden considerarse como formas de representación adecuadas.

En el trabajo "Esquemas de selección para las formas de representación del conocimiento" (Pérez-Miñana 1990) se desarrollaron análisis, siguiendo el mismo procedimiento presentado, para el resto de las AG consideradas. Debe señalarse que a la AG control de procesos no se le asoció una tabla de resultados como a las otras actividades, pues se consideró, que la misma se realiza indirectamente dentro de cualquiera de las AG mencionadas, por lo que los tipos de conocimiento requeridos de alguna forma están implícitos en las otras tablas de resultados.

VI.-Conclusiones

En este punto se presentan algunas conclusiones obtenidas con esta investigación y también, posibles investigaciones futuras sobre este tema:

- (1) La clasificación del conocimiento presentada en la parte II de este informe resultó conveniente para la definición de los esquemas de selección.
- (2) El conjunto de actividades denominadas AG permiten hacer una clasificación bastante completa y precisa de todos los SBC desarrollados hasta los momentos. Esto se afirma ya que para cada actividad presentada en la tabla se logró definir los tipos de conocimiento que se requieren para efectuarla, y a este nivel, es posible asociar a cada uno de ellos una o varias formas de representación más convenientes.
- (5) Uno de los problemas, por los cuales no se puede conseguir una simulación realmente efectiva de los procesos mentales que efectúa el hombre, se debe a que ninguna de las formas de representación existentes permite realmente conceptualizar todo lo que involucra la tarea de pensar. Es por ello que vale la pena considerar la definición de alguna FRC nueva o, la definición de

mecanismos que permitan integrar adecuadamente las existentes, ya que, en conjunto las FRC ofrecen mejores alternativas.

Los distintos puntos en el área de Inteligencia Artificial que constituyen focos centrales para investigaciones futuras resultaron ser:

- (1) Validación, mediante SBC arquetípicos, del tipo de resultados presentados en las tablas asociadas a cada una de las AG analizadas.
- (2) Estudio detallado del potencial existente en las bases de conocimiento que resultan de la integración de diferentes formas de representación.
- (3) Definición de una metodología para el desarrollo de SBC utilizando la clasificación del conocimiento que se expone en el informe y algunas de las técnicas existentes para la extracción del conocimiento de los expertos.
- (4) Analizar la forma de la base de conocimiento requerida por un SBC definido con el objetivo de realizar más de una AG en forma simultánea.
- (5) Definición de un SBC que permita a los diseñadores de este tipo de sistemas seleccionar las formas de representación que más conviene utilizar en la definición de la base de conocimientos del sistema que se está desarrollando. El proceso de selección puede estar basado en los criterios definidos en este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a los profesores Jorge Baralt y Alexander Zambrano por sus valiosos comentarios sobre los elementos de la investigación.

VII.-Bibliografía

- BONNET A., "L'intelligence Artificielle: Promesses et Réalités", InterÉditions 1984.
- CALLERO M., WATERMAN D., KIPPS J., "TATR: A Prototype Expert System for Tactical Air Targeting", Reporte R-3096-ARPA, Rand Corporation, Junio 1984.
- CHANDRASEKARAN B., "Generic Tasks in Knowledge-based Reasoning: High-level Building Blocks for Expert System Design", IEEE Expert, Octubre 1986.
- CHANG KAI-HUNG, WEE W., "A Knowledge-Based Planning System for Mechanical Assembly using Robots", IEEE Expert, Primavera 1988.
- DUDA R., GASCHNIG J., HART P., "Model Design in the PROSPECTOR Consultant System for Mineral Exploration", in Michie 1979.
- FRANKLIN J., LACKEY C., KELLER K., LEVITT T., BUTEAU B., "Expert System Technology for the Military: Selected Examples", Proceedings of the IEEE, vol. 26, N° 10, Octubre 1988.

- GEVARTER W., "The Nature and Evaluation of Commercial Expert System Building Tools", COMPUTER, Mayo 1987.
- PEREZ-MINANA E., "Criterios de Selección para las Formas de Representación del Conocimiento", Trabajo de Grado para optar al Título de Magister en Ciencias de la Computación en la Universidad Simón Bolívar, Octubre de 1990.
- SLAGLE J., HAMBURGER H., "An Expert System for a Resource Allocation Problem", Communications of the ACM, N° 28, Septiembre 1985.
- SOWA J., "Information Processing in Mind and Machines", Ed. Addison-Wesley, 1984.
- WATERMAN D., "A Guide to Expert Systems", Addison-Wesley Publishing Company, 1984.