



## DESARROLLO DE SBC / SE

Por M. Ing. María Alejandra Ochoa

---

### 1. INTELIGENCIA COMO BASE DE LA INGENIERÍA DEL CONOCIMIENTO

La AI puede analizarse desde dos perspectivas, como:

- Ciencia: trata de entender la naturaleza de la inteligencia
- Ingeniería: trata de construir máquina que presenten una conducta inteligente

Como ciencia:

*“Estudia el comportamiento inteligente con el fin de conseguir una teoría que explique la conducta que se produce en seres de naturaleza inteligente y que guíe la creación de entes artificiales capaces de alcanzar dicho proceder inteligente”*

Desde este punto de vista se plantean tres cuestiones, a saber:

1. Entender la inteligencia como otro conocimiento científico: describiendo rasgos analíticos de la inteligencia natural con el detalle suficiente para poder escribir un programa.
2. Encontrar mecanismos o procesos básicos: comunes a actividades y comportamientos variados, como por ejemplo: resolver un problema matemático, descubrir una estructura molecular, ir de casa al trabajo, jugar al ajedrez, etc.
3. Ayudar a construir modelos de trabajo: del mismo modo que el conocimiento de la aeronáutica ayuda a construir aviones.

Como ingeniería:

*“Se ocupa de los conceptos, la teoría y la práctica de cómo construir máquinas inteligentes, es decir, máquinas que resuelven problemas coextensivos con los que, al resolverlos los seres humanos, éstos son tenidos por inteligentes”*

Un ejemplo de este tipo de máquinas inteligentes, son los SBC (sistemas basados en conocimiento) en un sentido general y los SE (sistemas expertos) más concretamente. A la actividad de construir estos sistemas, se la denomina Ingeniería del Conocimiento (INCO), cuya misión es adquirir, formalizar, representar y usar grandes cantidades de conocimientos de la más alta calidad y específicos de una tarea.

### TIPOS DE CONOCIMIENTO:

Se clasifican según diferentes dimensiones:

- **Operatividad:**
  - Conocimientos declarativos o descriptivos: hacen referencia a qué son las cosas y describen el dominio de la aplicación en términos de conceptos, objetos, atributos, valores y relaciones entre las mismas, sin que importe como se usen esos conocimientos.
  - Conocimientos prescriptivos o procedimentales: describen como funcionan las cosas. Sirven para controlar el proceso de solución de un problema, centrándose en el uso de conocimientos y esquema de razonamiento usados para alcanzar una solución.



- **Privacidad**
  - Públicos: ya fueron publicados, están en forma explícita, por lo tanto son representables y utilizables.
  - Privados: están interiorizados en el experto y se adquieren con el ejercicio de su profesión.
- **Definición del problema**
  - Estructurantes: se expresan de manera declarativa. Representa una definición de los objetos del dominio y las reglas o relaciones entre los mismo, como así también situaciones iniciales que plantea el problema, posibles soluciones. El nivel estructurante permite desglosar un formalismo de representación de los conocimientos y los mecanismos de inferencia. Ejemplo: saber jugar al ajedrez.
  - Heurísticos: en este nivel, a diferencia del nivel estructurante, las heurísticas definirían las reglas de bien jugar o de jugar con mayor probabilidad de ganar. Representan la experiencia bien organizada e indexada en la memoria del experto. Tiene las pautas para enfrentarse y resolver numerosos problemas diarios. La forma de estos conocimientos es simple y procede de toda la experiencia que sumarizan. Ejemplo: saber ganar en el juego de ajedrez.

## ASPECTOS DE LA INFORMACIÓN:

1. **Sintáctico, técnico o de datos**: se refiere a los signos que se emplean en la comunicación. Tiene en cuenta la capacidad de los canales de comunicación y el diseño de los sistemas de codificación para una transferencia eficiente de los datos, siendo irrelevante que estos tengan significado. Es de alta aplicabilidad en comunicación y proceso de datos.
2. **Semántico o de noticias**: se refiere a las relaciones entre los signos y las entidades designan significado a los signos. Se refiere al sentido de las palabras. Es dependiente del receptor. La problemática surge de las diferentes interpretaciones que un receptor realiza del significado que el emisor da al mensaje. El significado varía con el tiempo y el entorno.
3. **Pragmático o de conocimiento**: se refiere a la relación entre los signos y sus usos; se refiere a la utilidad de la información. Depende fuertemente del tiempo.

## EL EXPERTO

Un experto es reconocido como alguien que es capaz de resolver un tipo de problema que otras personas, inclusive de su profesión, no pueden resolverla efectiva y eficientemente. Podría tomarse como parámetro, que un experto tiene entre 50.000 y 100.000 cuantos de conocimientos heurísticos y que 50.000 unidades cuesta unos 10 años en adquirirlos.

### Características de un experto

1. Tiene pericia: dimensión vinculada a su alta prestación y/o rendimiento. Resolver problemas que son de su competencia o conocimiento, con éxito; y/o en forma veloz (antes que muera el paciente)



2. Posee capacidad para manipular símbolos
3. Posee capacidad para resolver problemas de un dominio
4. Resuelve problemas complejos y con cierto grado de dificultad: los problemas deben ser lo suficientemente complicados como para necesitar un experto. (esta complejidad aun no fue discutida).
5. Tiene capacidad para reformular o reutilizar su conocimiento.
6. Tiene capacidad para razonar sobre sí mismo: sobre sus propios procesos, razonar sobre sus propias decisiones, la capacidad de poder armar la propia cadena de razonamiento.
7. Realiza una tarea en particular: interpreta, diagnostica, monitoriza, predice, instruye, planifica, diseña, etc.

### **Tareas que realiza un experto**

1. Clasificación: se relaciona una situación única, con un grupo mayor de casos similares. Qué hacer en este tipo de situaciones, seleccionar la respuesta a partir de un conjunto.
2. Predicción, pronóstico y prospección: Prever lo que sucederá en el futuro sobre la base de la información actual. Deben ser capaces de referirse a cosas que cambian con el tiempo y a sucesos ordenados en el tiempo. Integra dicha información para dar cuenta de múltiples futuros posibles.
3. Diseño y síntesis: capacidad de configurar un sistema sobre la base de un conjunto de posibles alternativas. Deben satisfacer restricciones de diseño y al mismo tiempo alcanzar los objetivos deseados.
4. Planificación y catalogación: ordenar tareas de forma que pueden realizarse con los recursos utilizables y sin interferirse entre si, en un plazo de tiempo determinado.
5. Monitorización: observar una situación en curso, como se va desarrollando y reconducirla cuando se desvía de los parámetros esperados. Si este no puede reconducirlo alerta al monitor.
6. Control: ejerce las acciones necesarias para corregir los desvíos que alejan de la meta deseada. Tiene un alcance global, a diferencia de la monitorización.

### **LA EXPERIENCIA**

Subyacente al comportamiento de los expertos, está el cuerpo de conocimientos operativos, que se denomina experiencia. Cuando se pretende desarrollar un sistema experto, se debe representar la experiencia que hace posible el comportamiento que lleva a cabo un experto para resolver una situación problemática.

### **Dificultades para transferir experiencia**

La transferencia de conocimientos de un experto a un sistema está condicionada y dificultada por una serie de circunstancias.

- Los conocimientos del experto son caros: conseguir la colaboración de un experto para el desarrollo de un SE representa muchas veces de un costo elevado, fundamentalmente por su falta de tiempo y disponibilidad para transferir su conocimiento. Depende de su buena voluntad.



- Los conocimientos del experto no están en ningún libro: los libros transmiten un saber, pero el conocimiento de un experto es de naturaleza heurística, está mal definido, se maneja a nivel inconsciente.
- Los conocimientos del experto se adquieren gradualmente: construir un SE demanda varios meses y a veces años. Las bases de conocimiento deben reformularse varias veces.
- Los conocimientos del experto suelen estar distribuidos: es frecuente que los problemas se resuelvan en equipo, y confiar en un único experto puede crear puntos oscuros.
- Los conocimientos del experto son declarativos: es decir se codifican no procedimentalmente.
- Un experto aplica efectiva y eficientemente lo que sabe: no sólo posee un almacén de conocimiento sino que lo aplica rápidamente.

### **Razones para preferir experiencia artificial**

- Es permanente, permanece en los sistemas que la soportan, por lo que están siempre disponibles
- Es de fácil transferencia, se reduce a una trivial copia de un programa.
- Genera resultados reproducibles más consistentes y completos, que los que producen los seres humanos. Un persona en una situación límite, puede olvidar, tal vez por presiones o emociones, alguna regla importante; un SE no cae en estos errores.
- Es fácil de documentar:
- Tiene un coste reducido, no al momento de desarrollarlo, pero si al operarlo
- Es ubicua, dada su facilidad de reproducción, puede estar en toda circunstancia en el momento preciso y en el lugar adecuado.

### **Razones para preferir experiencia natural**

- Los seres humanos son creativos:
- Los expertos humanos son capaces de aprender y adaptarse
- Los seres humanos pueden beneficiarse y usar sus sentidos.
- Un experto puede examinar todos los aspectos de un problema
- Los seres humanos poseen sentido común.

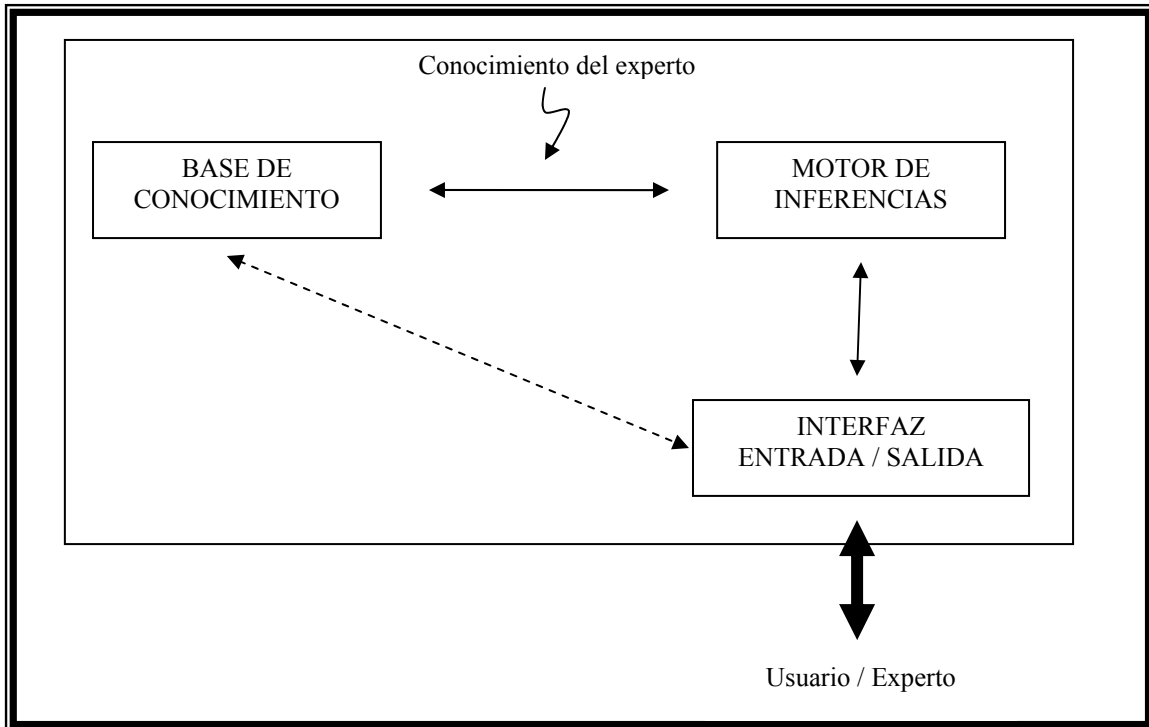
## **2.ARQUITECTURA DE UN SISTEMA EXPERTO**

Los SBC suelen tener una estructura común, a saber:

- a) Base de conocimiento: contiene los conocimientos relativos a la tarea. Usa formalismos de representación para codificar los conocimientos en la base.
- b) Motor de inferencias: medio por el cual controla y aplican los conocimientos. Permiten que el sistema razona a partir de los datos, noticias o conocimientos de entrada para producir los resultados de salida. Gobiernan el orden en el que el sistema realiza los pasos de razonamiento, acepta entradas y produce salidas.
- c) Interfaz de E/S: no solo para que el usuario proporcione hechos y datos y el sistemas responda, sino que además desde aquí se puede interactuar con la base



de conocimiento para introducir nuevos conocimientos. Esta facilidad solo se da en sistemas más avanzados.



### DIFERENCIAS ENTRE UN SBC Y UN SISTEMA CONVENCIONAL

SBC	Proceso de Datos
Declarativos (describen el dominio y las reglas que operan en el)	Procedimentales (procedimientos para operar sobre datos)
Elementales (se refieren a una sola tarea)	Sofisticados (pueden resolver mas de una tarea)
Paralelos (para resolver un problema deben evaluar en paralelo varios condiciones de E)	Secuenciales (cada proceso requiere de los datos de S de un proceso anterior)
Flexibles (puede aprender nuevas reglas e incorporar nuevos conocimientos - SBC sofisticados)	Rigidos (una vez en produccion para ajustarse a un cambio, debe hacerse una modificacion en el código)
No deterministas. (Para una E puede haber distintas alternativas de solucion)	Deterministas (Para una E hay un camino que se sigue siempre)
El modelo de la solución esta en la base de conocimiento	El modelo de la solución forma parte del código del programa.
Tres niveles (datos, reglas y control o inferencia)	Dos niveles (datos y programas)

### 3.ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN SBC O SE

Características que hacen que un problema sea adecuado para resolverlo mediante un SE. No alcanza con identificar el problema, se debe poder determinar si la INCO trabajará eficientemente en este problema en particular.



Lo que la INCO tiene en cuenta si un SE es:

- Desarrollo es posible: se refiere a la colaboración del experto, disponibilidad, cooperación, si puede articular sus métodos y procedimientos de trabajo, si dispone de suficientes casos de prueba, si la tarea está bien estructurada, sino requiere sentido común.

<b>Desarrollo posible</b>
Existen expertos, están disponibles y son cooperativos
El experto es capaz de estructurar sus métodos y procedimientos de trabajo
La tarea está bien estructurada y se entiende
Existen suficientes casos de prueba y sus soluciones asociadas
La tarea sólo depende de los conocimientos y no del sentido común

- Desarrolla está justificado: si se va a aplicar en entornos hostiles, si hay escasez humana, si esa experiencia es necesaria simultáneamente en lugares distintos y distantes, si hay pérdida de experiencia, si se espera una alta tasa de recuperación de la inversión, no hay solución alternativa, la programación convencional no los resuelve.

<b>Desarrollo justificado</b>
Resuelve una tarea útil y necesaria
Se espera una alta tasa de recuperación de la inversión
Hay escasez de experiencia humana
Hay necesidad de tomar decisiones en situaciones críticas o ambientes hostiles, penosas y o poco gratificantes
Hay necesidad de distribuir los conocimientos
Los conocimientos pueden perderse de no realizarse el sistema
No existen soluciones alternativas

- Desarrollo es apropiado: tiene un valor práctico, la transferencia de experiencia entre humanos es posible, si la experiencia esta pobremente organizada, no requiere respuesta en tiempo real inmediato, etc.

<b>Desarrollo apropiado</b>
La transferencia de experiencia entre humanos es factible
La tarea requiere experiencia
Los efectos de la introducción del SÉ no pueden preverse
La tarea requiere razonamiento simbólico
La tarea requiere el uso de la heurística para acotar el espacio de búsqueda
La tarea es de carácter público y más táctica que estratégica
Se espera que la tarea continúe sin cambios significativos durante un largo período de tiempo
Se necesitan varios niveles de abstracción en la resolución de la tarea
El problema es relativamente simple o puede descomponerse en subproblemas
El experto no sigue un proceso determinista en la resolución del problema
La tarea acepta la técnica del <input type="checkbox"/> rototipazo gradual
El experto resuelve el problema a veces con información incompleta o incierta
Es conveniente justificar las soluciones adoptadas
La tarea requiere investigación básica
El sistema funcionará en tiempo real con otros programas o dispositivos



- Desarrollo va a tener éxito en su construcción: los directivos están mentalizados de la importancia, si apoyan el proyecto, si los usuarios aceptan de buen grado o no rechazan el SE, el dominio es lo suficientemente estable, etc.

<b>Desarrollo exitoso en su construcción</b>
Existe una ubicación idónea para el SE
Problemas similares se han resuelto mediante INCO
El problema es similar a otros en los que resultó imposible aplicar esta tecnología
La continuidad del proyecto está influenciada por vaivenes políticos
La inserción del sistema se efectúa sin traumas, es decir, apenas se interfiere en la rutina cotidiana
Se dispone de experiencia en INCO
Se dispone de los recursos humanos, hardware y software necesarios para el desarrollo e implementación del sistema
El experto resuelve el problema en la actualidad
La solución del problema es prioritaria para la institución
Las soluciones son explicables o interactivas
Los objetivos del sistema son claros y evaluables
Los conocimientos están repartidos entre un conjunto de individuos
Los directivos, usuarios, expertos e IC están de acuerdo en las funcionalidades del SE
La actitud de los expertos ante el desarrollo del sistema es positiva y no se sienten amenazados por el proyecto
Los expertos convergen en sus soluciones y métodos
Se acepta la planificación del proyecto propuesta por el IC
Existen limitaciones estrictas de tiempo en la realización del sistema
La dirección y usuarios apoyan los objetivos y directrices del proyecto
El nivel de formación requerido por los usuarios del sistema es elevado
Las relaciones IC – Experto son fluidas
El proyecto forma parte de un camino crítico con otros sistemas
Se efectuará una adecuada transferencia tecnológica
Lo que cuenta en la solución es la calidad de la respuesta

#### 4. CONCEPTUALIZACIÓN

Permite modelar el comportamiento del experto en la solución de los problemas de su competencia, en dos modelos: el estático (que se corresponde con la estructura del sistema) y el dinámico (que se corresponde con la funcionalidad del sistema).

La conceptualización establece que conocimientos maneja el experto, como los utiliza, donde los emplea y cuando los usa. Estos conocimientos a su vez los clasifica en:

##### **Modelo estático:**

Conocimiento fáctico o declarativos: conceptos, atributos y valores asociados en:

- Diccionario de conceptos
- Tabla Concepto – Atributo – Valor (TCAV)
- Mapa de relaciones entre conceptos.



- Definición de atributos
- Conocimiento estratégico: estrategias seguidas por el experto para llevar adelante la tarea:
- Árbol de descomposición funcional
- Conocimiento táctico: pasos seguidos en cada estrategia para poder realizarla
- Tabla de decisión
  - Fórmulas
  - Seudorreglas

**Modelo dinámico:**

Es la integración de los conocimientos fácticos, estratégicos y tácticos en

- Árbol de estrategias o árbol jerárquico de tareas.
- Mapa de conocimientos.

Resolución de un caso: “Asistir al dentista en la elaboración de afecciones dentarias”

De acuerdo a lo especificado en la historia clínica del paciente, y dialogando con el mismo se puede conocer que afección dentaria se debe tratar, es decir:

- Si el color de la pieza dentaria tiene manchas localizadas, y su tipo de cavidad es dura, la pulpa es íntegra, la pieza dentaria duele con el frío, el calor y la exploración y este dolor es fugaz, estamos en presencia de una atrofia pulpar
- En cambio, si las piezas dentarias tienen manchas localizadas, y su tipo de cavidad es dura, la pulpa es íntegra, la pieza dentaria duele con el frío, el calor, la exploración, al comer dulces y al comer comidas ácidas o cualquier cosa, y este dolor es localizado y fugaz, estamos en presencia de una hiperemia pulpar.
- En el caso de que las piezas dentarias tengan manchas localizadas, y la exposición pulpar sea íntegra y tenga dolor al frío, al calor, al masticar dulces, ácidos o cualquier otro alimento, a la exploración y el dolor sea persistente y localizado, estamos en presencia de un pulpitis infiltrativa.
- En cambio, si las manchas son localizadas y la pulpa esta hipertrofiada, y presenta dolor al calor y a la exploración y el dolor esta localizado, se está en presencia de un pólipo pulpar,
- Si las piezas dentarias tienen manchas difusas, la cavidad no es dura y la pulpa esta parcialmente o totalmente destruida y no presenta síntomas de dolor, estamos en presencia de una gangrena pulpar.

**Conceptualización del caso**

---

Modelo Estático

A. Conocimiento Fáctico ó Declarativo

- DICCIONARIO DE CONCEPTOS (Conocimiento Fáctico)

Concepto	Función	Sinónimo	Atributos	Derivado de:
Pieza dentaria	Masticación	Dientes, muelas, etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Coloración</li> <li>○ Tipo de cavidad</li> </ul>	-----

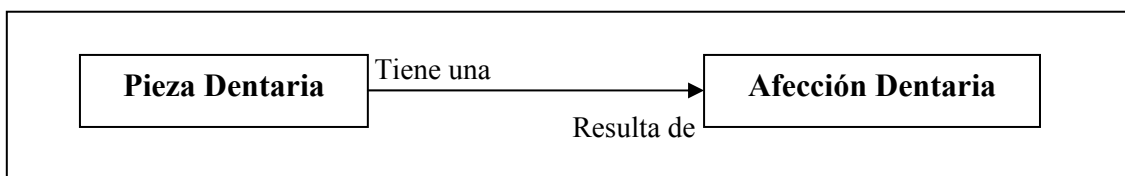


			<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Estado de la pulpa</li> <li>○ Sensibilidad al Duele con / al:</li> <li>○ Síntomas del dolor</li> </ul>	
Afección dentaria	Dañar las piezas dentarias	Infección, enfermedad	○ Tipo	Características de la pieza dentaria

▪ TABLA CONCEPTO – ATRIBUTO – VALOR (TCAV)

Concepto	Atributo	Valor	Sigla
Pieza dentaria	Coloración	Manchas localizadas	ML
		Manchas difusas	MD
	Tipo de cavidad	Dura No dura	DU NDU
	Estado de la pulpa	Íntegra Hipertrofiada Total / Parcial Destruída	INT HIP DEST
	Duele con / al:	Frío Calor Exploración Comer dulces Comer ácidos Cualquier cosa	FR CL EX CD CA CC
	Tipos de dolor	Fugaz Persistente Localizado Ninguno	FU PER LOC SD
Afección dentaria	Tipo	Atrofia pulpar Hiperemia pulpar Pulpitis infiltrativa Pólipo pulpar Gangrena pulpar	AP HP PI PP GP

▪ MAPA DE RELACIONES ENTRE CONCEPTOS



▪ DEFINICIÓN DE ATRIBUTOS

Información	Descripción
<b>Nombre del atributo</b>	<i>Tipo</i>
<b>Concepto</b>	<i>Afección dentaria</i>
<b>Descripción</b>	<i>Tipo de afección dentaria que se diagnostica sobre una pieza dentaria</i>
<b>Tipo de valor</b>	Atrofia pulpar, Hiperemia pulpar, Pulpitis infiltrativa, Pólipo pulpar, Gangrena pulpar
<b>Rango de valores</b>	-----
<b>Número de valores por caso</b>	<i>Uno</i>

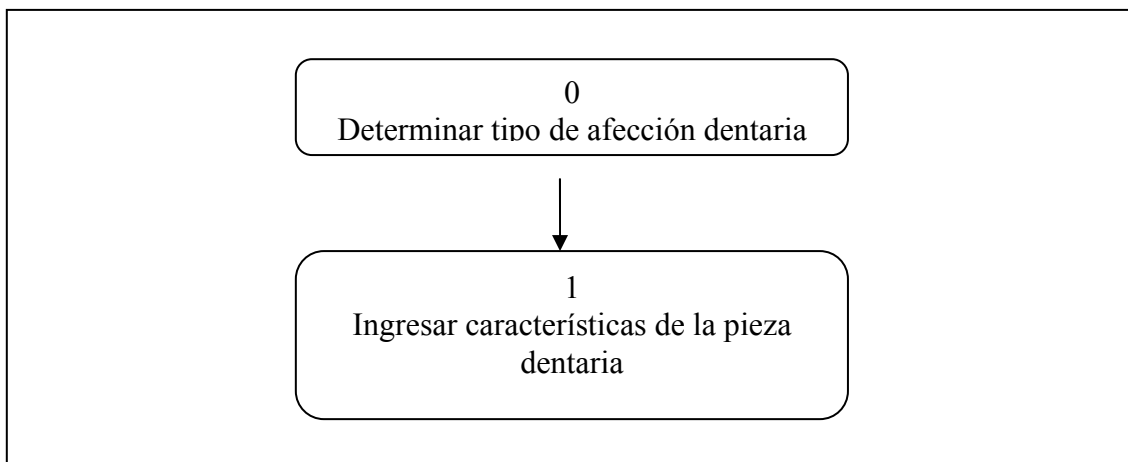


<b>Fuente</b>	<i>Palabras del experto</i>
<b>Detalle acerca del método para obtener información</b>	<i>Análisis de protocolo</i>
<b>Uso</b>	<i>Inferencia de tipo de afección dentaria que se diagnosticará</i>
<b>Formato de los resultados de salida</b>	<i>Conjunto de caracteres</i>

(Repetir por cada uno de los atributos de cada uno de los conceptos identificados)

B. Conocimientos Estratégicos

- ARBOL DE DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL



C. Conocimientos Tácticos

- TABLA DE DECISIÓN

<b>Condición</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>
<i>Coloración</i>	ML	ML	ML	ML	MD
<i>Tipo de cavidad</i>	DU	DU	----	----	NDU
<i>Estado de la pulpa</i>	INT	INT	INT	HIP	DEST
<i>Duele con/al</i>	FR-CL-EX	FR-CL-EX-CD-CA-CC	FR-CL-CD-CA-CC-EX	CL-EX	-----
<i>Tipo de dolor</i>	FU	LOC	PER-LOC	LOC	SD
<b>Acción</b>					
<i>Tipo de afección dentaria</i>	AP	HP	PI	PP	GP

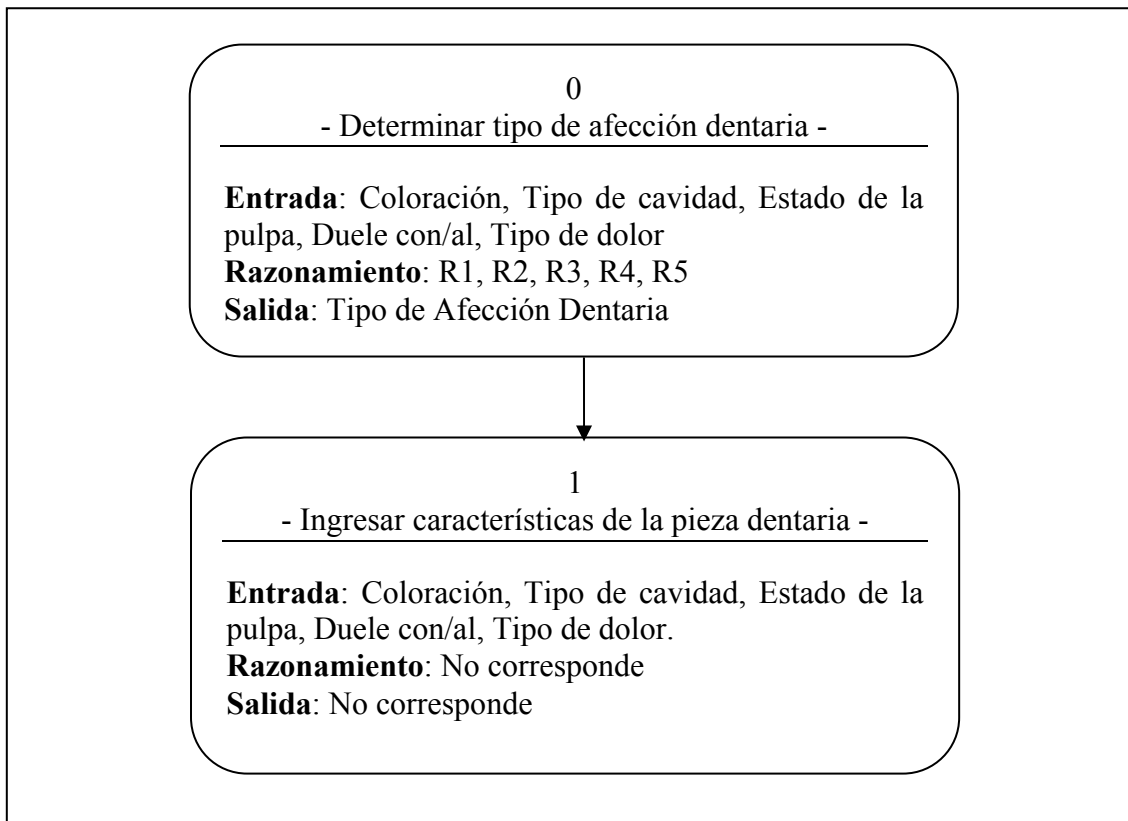


▪ SEUDORREGLAS

Nombre de la regla	Texto de la regla
R1	<b>SI</b> Coloración = Manchas localizadas <b>Y</b> Tipo de Cavidad = Dura <b>Y</b> Estado de la pulpa = Integra <b>Y</b> Duele con/al = Frío, Calor, Exploración <b>Y</b> Tipo de Dolor = Fugaz <b>ENTONCES</b> <b>Tipo</b> = Atrofia Pulpar
R2	..... completar.....

Modelo Dinámico

▪ ARBOL DE ESTRATEGIAS





MAPA DE CONDICIONAMIENTOS

