

Arquitectura de pizarrón de un sistema experto **ilustrada con el diagnóstico médico**

María Eugenia Cabello Espinosa

UNIVERSIDAD DE COLIMA

Arquitectura de pizarrón de un sistema experto ilustrada con el diagnóstico médico

UNIVERSIDAD DE COLIMA

Mtro. José Eduardo Hernández Nava, Rector

Mtro. Christian Jorge Torres Ortiz Zermelo, Secretario General

Mtra. Vianey Amezcua Barajas, Coordinadora General de Comunicación Social

Mtra. Gloria Guillermina Araiza Torres, Directora General de Publicaciones

Arquitectura de pizarrón de un sistema experto ilustrada con el diagnóstico médico

María Eugenia Cabello Espinosa



UNIVERSIDAD DE COLIMA

© UNIVERSIDAD DE COLIMA, 2018

Avenida Universidad 333

Colima, Colima, México

Dirección General de Publicaciones

Teléfonos: (312) 316 10 81 y 316 10 00, extensión 35004

Correo electrónico: publicaciones@ucol.mx

<http://www.ucol.mx>

ISBN: 978-607-8549-21-4

Derechos reservados conforme a la ley

Impreso en México | *Printed in Mexico*

Proceso editorial certificado con normas ISO desde 2005

Dictaminación y edición registradas en el Sistema Editorial Electrónico PRED

Registro: LI-006-17

Recibido: Mayo de 2017

Publicado: Julio de 2018

Índice

Prólogo.....	9
Introducción	11
Pincelada de algunos conceptos relacionados con los sistemas expertos ...	17
Inteligencia artificial.....	17
Sistemas expertos.....	18
Definición de los sistemas expertos.....	18
Características de los sistemas expertos	19
Componentes de un sistema experto	20
Tipología de los sistemas expertos.....	22
Áreas de aplicación de los sistemas expertos.....	25
Representación del conocimiento	25
Representación del conocimiento con reglas de producción.....	26
El antecedente.....	27
El consecuente.....	28
Representación de la incertidumbre.....	28
Estrategias de razonamiento	30
El razonamiento por encadenamiento de reglas hacia adelante.....	33
El razonamiento por encadenamiento de reglas hacia atrás	34
El razonamiento oportuno.....	35
El razonamiento basado en casos	36
El razonamiento diferencial	38
Sistemas expertos multirrazonamientos.....	38
Definición de los sistemas expertos multirrazonamientos.....	38
Características de los sistemas expertos multirrazonamientos	39
Arquitecturas de los sistemas expertos multirrazonamientos.....	39
La arquitectura de pizarrón.....	40

Las fuentes de conocimiento.....	43
El pizarrón	44
El sistema de control	44
La arquitectura de pizarrón del sistema experto multirrazonamiento para tareas de diagnóstico	47
Funcionamiento y estructura del sistema	47
Comentarios acerca de la arquitectura	49
El pizarrón	49
Los comportamientos.....	50
El comportamiento del razonamiento por encadenamiento de reglas hacia adelante.....	51
El comportamiento del razonamiento por encadenamiento de reglas hacia atrás	52
El comportamiento del razonamiento basado en casos.....	53
El comportamiento del razonamiento diferencial.....	56
El mecanismo de selección de comportamientos.....	57
Orden jerárquico	59
Mecanismo de competencia entre REACS de un mismo tipo.....	60
Un sistema experto multirrazonamiento para el diagnóstico médico	63
El dominio de aplicación.....	63
El diagnóstico médico	64
Algunos conceptos y términos médicos.....	65
Signos	65
Pruebas de laboratorio	66
Síntomas	67
Entidad etiofisiopatológica o síndrome.....	68
Entidad nosológica o enfermedad.....	69
Entidad terapéutica o terapia.....	69
Estructura y funcionamiento del sistema experto multirrazonamiento.....	70
El pizarrón	70
Elementos de los niveles del pizarrón del dominio de las enfermedades infecciosas infantiles.....	72
Los comportamientos.....	77
El comportamiento del razonamiento por encadenamiento de reglas hacia adelante.....	77
Refinamiento de signos y síntomas:	
Paquete de reglas Csigno_síntoma.....	78

Inferencia de entidades etiofisiopatológicas: Paquete de reglas Cetiofisiopatología	85
Inferencia de entidades nosológicas: Paquete de reglas Cenfermedades y Cnosología	87
Inferencia de entidades terapéuticas: Paquete de reglas Cterapia	92
El comportamiento del razonamiento diferencial.....	95
Reglas usadas por los comportamientos para refinar los signos y síntomas, y para inferir las entidades etiofisiopatológicas, nosológicas y terapéuticas del dominio de las enfermedades infecciosas infantiles.....	97
Análisis de la creación de los elementos de los niveles del pizarrón de tres enfermedades seleccionadas en el dominio de las enfermedades infecciosas infantiles.....	114
Caso I: Diagnóstico: bronquiolitis infecciosa aguda.....	114
Caso II: Diagnóstico: crup espasmódico	121
Caso III: Diagnóstico: neumonía.....	129
Epílogo.....	137
Bibliografía.....	145

Listado de figuras

1. Componentes de un sistema experto basado en reglas.....	21
2. Tareas de los sistemas expertos	22
3. Diagrama de flujo del funcionamiento de un sistema experto que realiza tareas de diagnóstico	24
4. Significado de los valores de certidumbre sobre el intervalo $[-1,1]$	29
5. Componentes de la arquitectura de pizarrón	42
6. Componentes del sistema experto multirrazonamiento para tareas de diagnóstico	48
7. Estructura del comportamiento de razonamiento diferencial	57
8. Estructura del registro del estado de actividad de un comportamiento.....	58
9. Niveles de abstracción del pizarrón en el dominio del diagnóstico médico.....	71
10. Niveles de abstracción del pizarrón en el dominio de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda	76
11. Ejemplo que muestra la actividad del paquete de reglas Csigno_síntoma en el dominio de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda	84

12. Ejemplo que muestra la actividad del paquete de reglas Cetiofisiopatología en el dominio de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda.....	86
13. Ejemplo que muestra la actividad del paquete de reglas Confermedades en el dominio de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda	88
14. Ejemplo que muestra la actividad del paquete de reglas Cnosología en el dominio de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda	92
15. Actividad del paquete de reglas Cterapia en el dominio de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda	94
16. Ejemplo que muestra la actividad del conjunto del paquete de reglas que forman parte del razonamiento <i>forward</i>	95
17. Ejemplo que muestra la actividad del paquete de reglas Cdiferencial en el dominio de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda	96
18. Elementos de los niveles de abstracción del pizarrón en el dominio de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda	121
19. Elementos de los niveles de abstracción del pizarrón en el dominio de la enfermedad crup espasmódico.....	128
20. Elementos de los niveles de abstracción del pizarrón en el dominio de la enfermedad neumonía.....	135

Prólogo

Se ha intentado proporcionar al lector aquellos aspectos relacionados con los sistemas expertos basados en reglas, las arquitecturas pizarrón, las estrategias de razonamiento y los sistemas expertos multirrazonamientos, que resultarán de gran utilidad para una mejor comprensión de las aplicaciones discutidas en el capítulo “Un sistema experto multirrazonamiento para el diagnóstico médico”. El material ha sido escrito para personas relacionadas con los campos de la inteligencia artificial y de la medicina. En este sentido, el libro fue enriquecido con la presentación del caso de las enfermedades infecciosas infantiles (rubéola, sarampión, roséola, escarlatina, varicela, dengue, tifoidea, parotiditis viral o paperas, parotiditis bacteriana, crup espasmódico o laringitis estridulosa, bronquiolitis infecciosa aguda, neumonía, otitis viral y otitis bacteriana) las cuales están enmarcadas en el contexto del diagnóstico médico, como una aplicación de la inteligencia artificial en el área de la medicina.

Introducción

Hoy en día, los sistemas expertos han llegado a constituir una de las áreas más exitosas y útiles de la inteligencia artificial, debido a que típicamente el usuario interactúa con un sistema en un “diálogo consultante”, tal como si éste estuviera interactuando con un experto humano que posee algún tipo de experiencia; explicando su problema, ejecutando pruebas sugeridas y formulando preguntas acerca de soluciones propuestas.

Un sistema experto puede ser definido como un sistema inteligente con pericia en la solución de problemas, es decir, posee métodos de razonamiento, conocimientos y habilidades para resolver problemas de un dominio específico, en una forma similar a como lo haría un experto humano. Además, los sistemas expertos pueden verse como intermediarios entre los expertos humanos, quienes interactúan con el sistema en el modo adquisición de conocimiento, y los usuarios humanos, quienes interactúan con el sistema en el modo consulta.

Desde el origen de los sistemas expertos, en la década de los años sesenta, han sido muchas las áreas o dominios de interés que han servido de escenario para el desarrollo y aplicación de los mismos. Inclusive, la amplia gama o tipología de sistemas expertos conocida actualmente es consecuencia de la gran variedad de dominios de problemas explorados para la interpretación, la predicción, el diagnóstico, el diseño, la planeación, el

monitoreo, la depuración, la reparación, la instrucción, el control y otros tipos de tareas.

Dado que la mayoría de los problemas de estas tipologías requieren de más de una estrategia de razonamiento para realizar una tarea, es deseable contar con un sistema experto multirrazonamiento con el fin de obtener una mayor eficiencia, lo cual implica mecanismos de interacción cooperativa que asignen múltiples agentes (fuentes de conocimiento) para trabajar conjuntamente en la solución de problemas.

Cualquier dominio de aplicación que requiera de la pericia humana para la solución de problemas se convierte, de hecho, en un escenario probable para la aplicación exitosa de los sistemas expertos, como es el caso de la medicina, la biología, la química, la geología, la geofísica, la agricultura, la meteorología, la ingeniería, las operaciones bancarias y financieras, el derecho, el control de procesos, la administración de información, la aeronáutica, las operaciones militares, los sistemas de computación y otros más.

Es importante aclarar que un sistema experto opera sobre un solo campo del conocimiento y, por tanto, está dedicado de manera exclusiva a ello. De los dominios de interés destaca el del diagnóstico, que consiste en identificar las causas internas que provocan un problema o disfunción a partir de una serie de datos, signos o síntomas (variables observables) que son consecuencia de la misma. Por ello, un sistema experto para el diagnóstico infiere las fallas o mal funcionamiento de un sistema a partir de la interpretación de datos observados, los cuales pueden tener diferente grado de confiabilidad. El dominio de sistemas expertos para el diagnóstico incluye sistemas para el diagnóstico médico, electrónico, mecánico, de software, entre otros.

Dado que han cobrado importancia en nuestros días las aplicaciones desarrolladas en el campo de la medicina, en especial aquellas que ayudan al médico en el diagnóstico y trata-

miento de enfermedades, en este libro se presenta, a manera de ejemplo, el funcionamiento de un sistema experto multirrazonamiento para el diagnóstico médico, con una aplicación en las enfermedades infecciosas infantiles, proporcionando las variables observables del problema (entrada al sistema) y arrojando la solución del mismo (salida del sistema).

El diagnóstico médico, como proceso de solución de problemas, puede ser abordado como un proceso de generación de elementos solución a través de varios niveles de abstracción. Partiendo desde un nivel inicial, el cual contiene información primaria correspondiente a signos y síntomas, se van recorriendo otros niveles intermedios en los que se infieren particulares síndromes, hasta llegar a un nivel en el que se concluye la enfermedad presente y cuál debe ser el tratamiento adecuado.

Como toda aplicación en inteligencia artificial, los sistemas expertos requieren de conocimientos y métodos de inferencia para manipular dicho conocimiento en la solución de problemas del dominio. Los esquemas de representación del conocimiento permiten dotar a los sistemas expertos de conocimientos, mientras que los métodos de inferencia permiten a éstos manipular de forma apropiada y eficiente dicho conocimiento para alcanzar las metas propuestas.

Según el tipo de tareas que desarrolla el sistema experto, son utilizadas ciertas estrategias de razonamiento. En el caso de este sistema se determinó que los razonamientos más adecuados para resolver tareas de tipo diagnóstico médico son el encadenamiento de reglas hacia adelante, el encadenamiento de reglas hacia atrás, el diferencial y el basado en casos.

Se considera que este sistema experto multirrazonamiento podrá resolver un problema de forma más eficiente que un sistema experto con una única estrategia de razonamiento, respecto a su confiabilidad, la cantidad y pertinencia de las pregun-

tas que se hacen al usuario y a la satisfacción de éste ante la respuesta final del sistema.

En cuanto a la arquitectura de dichos sistemas, la arquitectura de pizarrón proporciona un escenario ideal para modelar, de una forma coherente, el conocimiento y la pericia relevantes en la solución de problemas de diagnóstico.

Por todo lo anterior, en este libro se propone un sistema experto multirrazonamiento con cooperación emergente entre las estrategias de razonamiento o comportamientos que, basado en la arquitectura de pizarrón, permita la solución de problemas de tipo diagnóstico.

Cabe señalar que se aborda la propuesta de una arquitectura, más que el desarrollo de un sistema experto en sí. Por esta razón, se ha enfocado a la descripción y discusión de las características estructurales y funcionales de tal arquitectura, sin abordar los detalles relacionados con la construcción de un sistema experto.

Sin embargo, no se trata de un simple desarrollo de lo ya existente, sino de una propuesta que toca problemas fundamentales para la inteligencia artificial, tales como la surgencia de pericia cooperativa entre fuentes de razonamiento.

Para presentar al lector lo mencionado, este libro ha sido organizado de la siguiente manera. En el primer capítulo se describen los conceptos principales de la inteligencia artificial, la clasificación o tipología y las tareas de los sistemas expertos, la representación de la incertidumbre cuando el conocimiento ha sido representado utilizando reglas de producción para los sistemas expertos basados en reglas; así mismo se comenta sobre las diferentes estrategias de razonamiento que pueden ser utilizadas por los sistemas expertos, según la tarea que les sea encomendada; y finalmente los sistemas expertos multirrazonamientos, donde se comenta de las características y arquitecturas de los

mismos, haciendo particular énfasis sobre la arquitectura de pizarrón presentada en este libro.

El segundo capítulo representa la parte medular de este libro, donde se establece la propuesta de una arquitectura de un sistema experto multirrazonamiento para tareas de diagnóstico, mencionándose el funcionamiento y estructura de éste.

En el tercer capítulo se presenta la construcción de un caso específico: un sistema experto multirrazonamiento para resolver tareas de diagnóstico médico, en el dominio específico del diagnóstico de enfermedades infecciosas infantiles. Para dicho dominio se exhiben todos los elementos de los niveles del pizarrón, así como las reglas para refinar los signos y síntomas, y las reglas para inferir las entidades etiofisiopatológicas, nosológicas y terapéuticas. Para una mayor compensión del funcionamiento de la arquitectura, se realiza detalladamente el análisis de los elementos de los niveles de abstracción en el pizarrón para tres enfermedades.

Finalmente, en el epílogo, se establecen algunas reflexiones que se desprenden del análisis del sistema propuesto, donde se incluyen recomendaciones para aprovechar de mejor manera lo relacionado con la temática de este libro.

Pincelada de algunos conceptos relacionados con los sistemas expertos

Inteligencia artificial

Muchas han sido las definiciones o aproximaciones al concepto de la inteligencia artificial (IA) que se han dado a lo largo de su desarrollo, las cuales se pueden resumir en la siguiente: La inteligencia artificial es una especialidad de las ciencias de la computación que atañe el diseño de sistemas computarizados para realizar acciones que asociamos con la inteligencia humana, tales como el razonamiento, la resolución de problemas, la toma de decisiones, el aprendizaje, etcétera.

Al igual que otras disciplinas científicas, la IA contiene varias áreas de investigación. Éstas incluyen solución de problemas, razonamiento lógico, comprensión del lenguaje, programación automática, aprendizaje, sistemas expertos, robótica y visión, entre otras.

Sistemas expertos

Definición de los sistemas expertos

Uno de los progresos más visibles en el área de la inteligencia artificial se ha dado en lo conocido como sistemas expertos, que es el nombre genérico para los programas especializados en algún campo específico del conocimiento, con capacidad de simular razonamientos parecidos a los que haría una persona versada sobre el tema en cuestión. En las actividades se pide a estos sistemas (mediante lenguajes especiales de comunicación a través de la terminal de video) que propongan caminos a seguir para la toma de decisiones. Es importante aclarar que un sistema experto opera sobre un solo campo de conocimiento y, por tanto, está dedicado de manera exclusiva a eso.

Recientemente el área de pericia artificial o sistemas expertos ha resultado ser una de las áreas más exitosas y útiles de la IA. Una de las principales razones que ha garantizado este éxito es el hecho de que no es un área restringida y cerrada de la IA, como muchos lo han pensado. Lejos de esto, los sistemas expertos extienden y elaboran los principios y procedimientos básicos que caracterizan a la gran mayoría de las restantes áreas de la IA.

Los sistemas expertos fueron desarrollados por primera vez durante la década de los años sesenta, logrando en muy pocos años traspasar la frontera de los laboratorios y la experimentación para demostrar su efectividad en un gran número de dominios de problemas.

Diferentes definiciones de sistemas expertos han sido propuestas hasta la fecha en la literatura de la IA; sin embargo, a pesar de los diferentes enfoques y caracterizaciones utilizados en éstas, una base o fundamento común puede ser extraído de todas ellas: un sistema experto es un sistema con pericia en la solución de problemas. Esto es, un sistema que posee conocimientos acerca de un dominio particular, comprensión de problemas del

dominio y métodos de inferencia o razonamiento para manipular este conocimiento y resolver los problemas en la misma forma en que lo haría un experto humano.

Características de los sistemas expertos

Los sistemas expertos difieren de los de computación convencionales en varios aspectos importantes (Barr y Feigenbaum, 1989; Hayes-Roth, *et al.*, 1983):

- Para llevar a cabo los procesos de solución de problemas, los sistemas expertos utilizan conocimientos específicos del dominio y métodos heurísticos (plausibles), más que tablas y algoritmos.
- Los sistemas expertos utilizan representaciones simbólicas del conocimiento (reglas de inferencia, redes semánticas, marcos, guiones, objetos) y ejecutan los procesos de inferencia a través de computaciones simbólicas (excepto los sistemas expertos conexionistas o basados en redes neuronales).
- Los sistemas expertos poseen métodos para explicar cómo se alcanzó una solución a un problema particular y por qué determinada información ha sido requerida durante el proceso de solución.
- Durante los procesos de razonamiento, los sistemas expertos pueden utilizar conocimientos acerca de ellos mismos (metaconocimiento). Esto es, utilizar las capacidades y limitaciones que poseen para enfrentar la solución de un problema particular.
- Con frecuencia los sistemas expertos aprenden de su propia experiencia acumulada sobre la solución de problemas en el pasado.

Componentes de un sistema experto

Los sistemas expertos usualmente tienen una arquitectura básica, conformada por unidades independientes y separadas, como lo muestra la figura 1. La base de conocimientos, el mecanismo de inferencia o motor de inferencia, la memoria de trabajo o base de hechos y la interfaz de usuario (interfaz de entrada/salida) son componentes que se encuentran en todo sistema experto basado en reglas, mientras que el módulo de explicaciones pudiera no estar presente en alguno de ellos y el módulo de adquisición del conocimiento sólo está presente en unos cuantos.

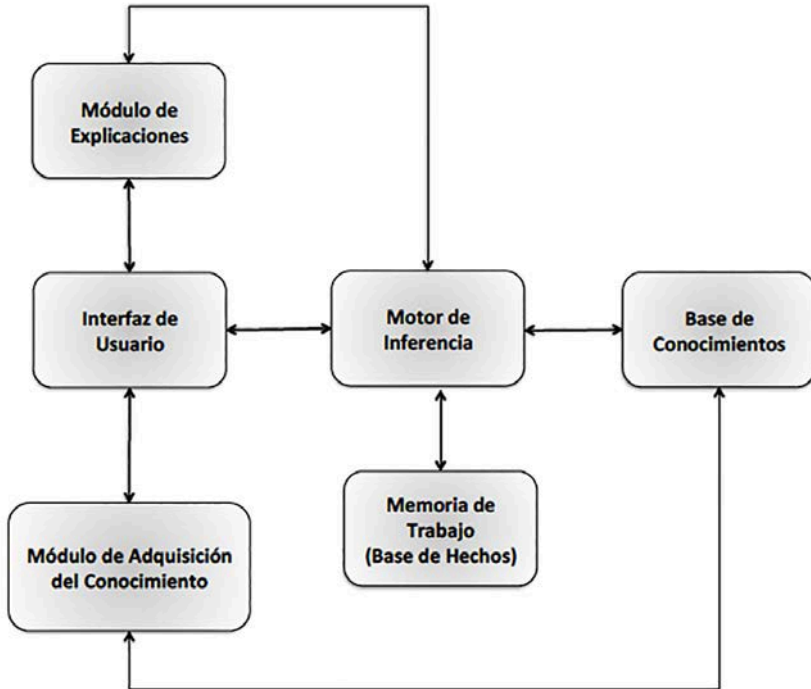
Los datos se agrupan en la memoria de trabajo (almacenamiento temporal de información dinámica, conformada por hechos temporales usados por las reglas). La representación del conocimiento se puede capturar mediante reglas del tipo: si *<antecedente>* entonces *<consecuente>*, que, junto con los hechos persistentes, constituyen la base de conocimientos, la cual contiene el conocimiento del dominio de aplicación. El control es independiente de los datos, y es realizado por el motor de inferencia durante los procesos de inferencia usando diferentes estrategias de razonamiento, transformando los datos en información útil para la toma de decisiones. La entrada y salida de la información se realiza a través de la interfaz de usuario, permitiendo la interacción del usuario con el sistema.

Para explicar a un usuario el razonamiento del sistema experto en la solución de problemas específicos, el módulo de explicaciones permite solicitar una explicación de las conclusiones obtenidas o de las acciones ejecutadas por el sistema, respondiendo interactivamente a sus preguntas.

Por otro lado, el módulo de adquisición del conocimiento permite tener una forma automática para introducir conocimiento al sistema, en lugar de que el ingeniero del conocimiento tenga que codificar explícitamente ese conocimiento. Este módulo determina si la nueva información está contenida en la ba-

se de conocimientos, *i.e.*, si es redundante; aquella información no redundante es transmitida a dicha base de conocimientos para que sea almacenada en ésta.

Figura 1
Componentes de un sistema experto basado en reglas



Fuente: Elaboración propia.

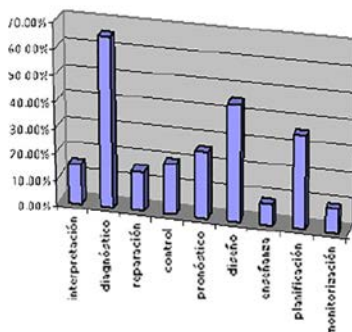
Tipología de los sistemas expertos

Una de las mejores formas de conocer el desempeño e importancia de los sistemas expertos es a través de las diferentes tareas genéricas que son capaces de ejecutar. La amplia gama o tipología de sistemas expertos conocida hoy en día es consecuencia de la gran variedad de dominios de problemas explorados. Existen sistemas expertos para el control, la depuración, el diagnóstico, el diseño, la instrucción, la interpretación, el monitoreo, la planeación, la predicción, la reparación, y otros tipos de tareas.

Una encuesta realizada por el JIPDEC (Centro de Desarrollo y Procesamiento de Información de Japón) sobre el uso de los sistemas expertos, demostró que las tareas que realizan éstos son las representadas en la figura 2, la cual muestra que el diagnóstico es la tarea más utilizada en los sistemas expertos (Sánchez y Beltrán, 1990).

Figura 2
Tareas de los sistemas expertos

☐ interpretación	15.3%
☐ diagnóstico	65.3%
☐ reparación	15.3%
☐ control	19.4%
☐ pronóstico	25.5%
☐ diseño	44.9%
☐ enseñanza	8.4%
☐ planificación	35.7%
☐ monitorización	9.2%



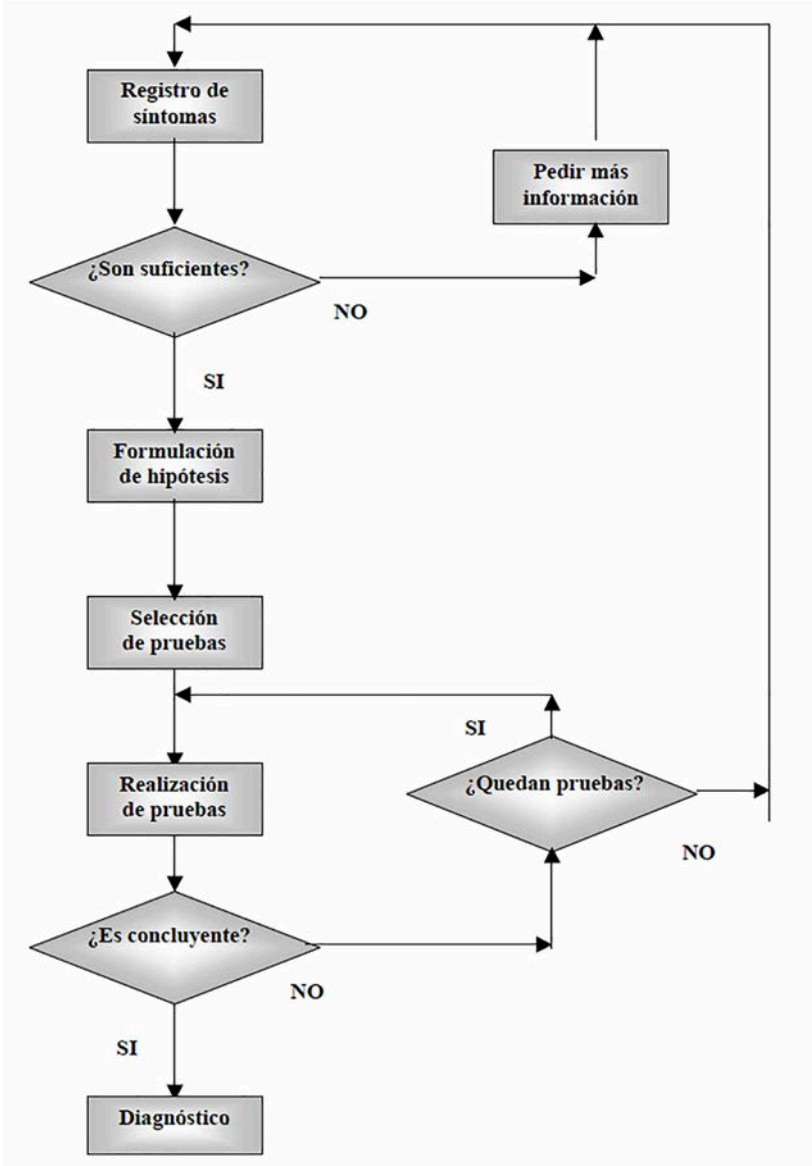
Fuente: Datos tomados de Sánchez y Beltrán (1990, p. 82).

El sistema experto diseñado en este libro está enfocado a realizar tareas de tipo diagnóstico, por lo que a continuación se hace una breve descripción de los sistemas expertos que realizan dicha tarea.

El diagnóstico es el proceso mediante el cual se buscan las fallas o desperfectos en un sistema. Un sistema experto para el diagnóstico es un sistema que infiere las fallas o mal funcionamiento de un sistema a partir de la interpretación de datos observados, los cuales pudieran ser ruidosos, inseguros o incompletos. La figura 3 muestra el organigrama del proceso realizado por un sistema experto para tareas de diagnóstico.

El dominio de sistemas expertos para el diagnóstico incluye sistemas para el diagnóstico médico, electrónico, mecánico, de software, entre otros. Los sistemas basados en reglas con encadenamiento hacia adelante o hacia atrás o con los razonamientos oportunístico, diferencial, basado en casos, basado en modelos y probabilístico, han resultado ser fuertes candidatos para problemas del tipo diagnóstico. Por otra parte, los sistemas basados en redes neuronales resultan muy útiles para problemas de diagnóstico, sobre todo cuando el diagnóstico es fuertemente dependiente del reconocimiento de patrones.

Figura 3
Diagrama de flujo del funcionamiento de un sistema experto
que realiza tareas de diagnóstico



Fuente: Sánchez y Beltrán (1990, p. 84).

Áreas de aplicación de los sistemas expertos

Cualquier dominio de aplicación que requiera de la pericia humana para la solución de problemas se convierte, de hecho, en un escenario probable para la aplicación exitosa de los sistemas expertos. Por ello, han sido muchas las áreas o dominios de interés que han servido de escenario para el desarrollo y la aplicación de los sistemas expertos. Dentro de estas áreas de aplicación destacan las siguientes: administración de información, agricultura, ciencias militares, control de procesos, derecho, electrónica, física, geología, ingeniería, matemáticas, medicina, meteorología, química y sistemas de computación.

Representación del conocimiento

Lo que confiere a los sistemas inteligentes una alta capacidad y elevada ejecución en la solución de problemas del mundo real es la cantidad y la calidad del conocimiento contenido en sus bases de conocimientos, más que los métodos de razonamiento que éstos utilizan para llevar a cabo los procesos de inferencia. Si se desea construir un verdadero sistema inteligente, capaz de resolver exitosamente problemas de la vida real, entonces se debe proporcionar a éste una gran cantidad de conocimiento y de la mejor calidad (González, 1995, p.4).

En términos generales, se puede decir que el conocimiento consiste de hechos, conceptos, procedimientos, ideas, abstracciones, reglas y asociaciones (en unión a una gran habilidad que permite utilizar estas nociones en la modelación de diferentes aspectos del mundo real). El conocimiento puede ser representado mediante escenas o imágenes mentales, mediante palabras escritas o habladas en algún lenguaje, mediante imágenes escritas o pictóricas y otras formas de expresión encontradas por el ser humano.

Desde el punto de vista de la IA, se puede interpretar el conocimiento como una combinación de esquemas o estructuras de datos y de procedimientos interpretativos, los cuales al ser utilizados correctamente en un programa le confieren a éste un comportamiento inteligente. Debido a que el conocimiento es importante y de carácter esencial para el comportamiento inteligente, su representación ha llegado a convertirse en una de las investigaciones prioritarias de la IA. La representación del conocimiento propone diferentes clases de esquemas y estructuras para la organización y almacenamiento del conocimiento en un sistema inteligente artificial. La elección de un esquema particular dependerá del tipo de problema a ser resuelto y de los métodos de inferencia a utilizar (Negrete, *et al.*, 1996, p. 76).

La representación del conocimiento comprende los marcos (*frames*), los guiones (*scripts*), las redes semánticas, las ontologías, las reglas de producción y los predicados de primer orden, entre otros. De todas estas representaciones, las reglas de producción han sido las más comúnmente utilizadas por los sistemas expertos y otros sistemas basados en el conocimiento. Los sistemas que utilizan este esquema para representar el conocimiento son conocidos como sistemas basados en reglas.

◇ Representación del conocimiento con reglas de producción

Las reglas de producción pueden ser consideradas como un conjunto de cláusulas de la lógica de predicados. Éstas son probablemente las formas más populares de representación del conocimiento utilizadas en los sistemas expertos. Esto se debe a la cómoda estructura que poseen y a la forma tan natural con que pueden ser expresados los conocimientos. Una regla de producción es una estructura de la forma:

IF <antecedente> THEN <consecuente>

Donde la parte izquierda es conocida como el antecedente y se refiere a las condiciones o premisas correspondientes a una situación dada, mientras que la parte derecha conocida como consecuente contiene la conclusión, acción o consecuencia dada en caso de que las premisas o condiciones hayan sido satisfechas.

El antecedente

En una regla de producción, el antecedente está compuesto por una o varias proposiciones, las cuales se combinan mediante conectivos lógicos para formar una condición o premisa más compleja.

Los conectivos lógicos utilizados son los clásicos de la lógica del cálculo proposicional:

- Conjunción (AND)
- Disyunción inclusiva (OR)
- Disyunción exclusiva (XOR)
- Negación (NOT)

La conjunción (AND) representa la condición de cumplimiento conjunto de dos proposiciones. Es decir, una conjunción se cumple sólo cuando las dos proposiciones componentes son verdaderas.

La disyunción inclusiva (OR) representa el caso de una alternativa entre dos proposiciones. Para que una disyunción inclusiva se cumpla basta que sea verdadera al menos una de las dos proposiciones componentes.

La disyunción exclusiva (XOR) también representa el caso de una alternativa entre dos proposiciones, pero a diferencia de la disyunción inclusiva, ésta se cumple cuando una y sólo una de las proposiciones componentes es verdadera.

La negación (NOT) significa la satisfacción o cumplimiento de lo contrario que haya sido expresado en la proposición pri-

maria. Esto es, si la proposición primaria es verdadera, entonces la negación es falsa y viceversa. La negación puede ser aplicada tanto a proposiciones simples como compuestas.

El consecuente

El consecuente en una regla de producción está compuesto por una proposición simple o compuesta, con los mismos conectivos lógicos mencionados en el antecedente de una regla. Si se quiere representar la incertidumbre en la regla de inferencia, entonces a la proposición conclusión se le puede asociar un factor, el cual expresa una medida de la confianza o seguridad del sistema experto acerca de la conclusión alcanzada cuando el antecedente ha sido satisfecho.

◇ Representación de la incertidumbre

La aproximación a la representación y tratamiento de la incertidumbre fue inicialmente experimentada por el sistema experto *MYCIN* y utilizada posteriormente por una gran variedad de sistemas expertos basados en reglas. *MYCIN* fue el primer sistema experto creado en medicina. Quizá la aportación principal de *MYCIN* haya sido la representación del conocimiento médico mediante factores de certidumbre.

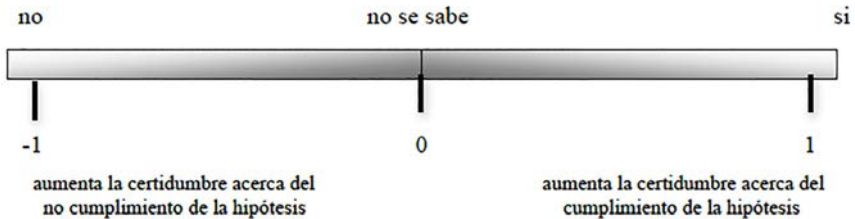
Cuando esta aproximación es utilizada, la incertidumbre es entonces representada mediante un valor numérico conocido como factor o grado de certidumbre. A cada regla de la base de conocimientos se le asocia un factor de certidumbre, el cual es una medida de la magnitud en la cual las evidencias o hechos que forman el antecedente de la regla apoyan la hipótesis o conclusión dada en el consecuente de la regla. De igual forma, la credibilidad o seguridad en cada hecho es expresada mediante su factor de certidumbre asociado. Por ejemplo, en el caso de *MYCIN*, y de lo presentado en este libro, la presencia de un signo o síntoma puede aumentar o disminuir la creencia de que el paciente tenga una enfermedad dada.

Estos factores de certidumbre deben poseer ciertas propiedades dentro de la base de conocimientos que permiten, después, combinarlos al establecer un diagnóstico. Para combinar las estimaciones de certidumbre presentes en cada una de las reglas y producir una estimación final de la certidumbre de las conclusiones, son utilizadas las funciones de combinación.

El factor de certidumbre puede tomar cualquier valor perteneciente al intervalo real $[-1,1]$, la parte positiva del intervalo corresponde al caso en que se afirma la presencia de una evidencia o la validez de ésta para apoyar determinada hipótesis y la parte negativa al caso en que se niega. El grado o la fuerza con que se afirma o se niega algo, lo da el valor absoluto del factor de certidumbre. La figura 4 muestra una representación del intervalo real $[-1,1]$.

Figura 4

Significado de los valores de certidumbre en el intervalo $[-1,1]$



Fuente: elaboración propia.

Los factores de certidumbre (FCs) de las reglas que forman la base de conocimientos son proporcionados por los expertos del dominio al escribir cada una de éstas, mientras que los FCs asociados a los hechos o evidencias que forman el antecedente de las reglas, son aportados por el usuario, como datos iniciales si se trata de un razonamiento *forward* (hacia adelante), o como respuesta a las preguntas formuladas por el sistema cuando se trata de un razonamiento *backward* (hacia atrás), o son obtenidos a partir de conclusiones alcanzadas por otras reglas.

En muchas ocasiones, el factor de certidumbre es referido como el grado de certidumbre, el valor de certidumbre, el nivel de certidumbre o simplemente certidumbre. En todos los casos se habla de la certeza que se posee acerca del cumplimiento de un hecho dado.

Estrategias de razonamiento

Toda aplicación en IA requiere de conocimientos y métodos de inferencia para manipular dicho conocimiento en la solución de problemas del dominio. Los esquemas de representación del conocimiento permiten dotar a los sistemas expertos de conocimientos, mientras que los métodos de inferencia permiten a éstos manipular de forma apropiada y eficiente dicho conocimiento para alcanzar las metas propuestas.

Existen diversas estrategias de razonamiento o comportamientos dentro de los sistemas expertos. Entre los comportamientos más utilizados para resolver problemas se encuentran:

- Razonamiento analógico
- Razonamiento basado en casos
- Razonamiento basado en modelos
- Razonamiento de sentido común
- Razonamiento diferencial
- Razonamiento espacial
- Razonamiento estadístico
- Razonamiento incierto

- Razonamiento intercausal
- Razonamiento minimalista
- Razonamiento monótono
- Razonamiento no monótono
- Razonamiento oportunístico
- Razonamiento por encadenamiento de reglas hacia adelante o *forward*
- Razonamiento por encadenamiento de reglas hacia atrás o *backward*
- Razonamiento por reconocimiento de patrones
- Razonamiento predefinido
- Razonamiento probabilístico

Ante esta variedad de comportamientos o estrategias de razonamiento utilizadas en los sistemas expertos, se puede concluir, a manera de interpretación acerca de estos razonamientos, que es conveniente construir agentes que funcionen como sistemas de razonamiento: sistemas que representen explícitamente el conocimiento y puedan efectuar razonamiento sobre éste. La principal ventaja de éstos es su alto grado de modularidad. Es posible independizar la estructura de control del conocimiento, con lo que cada porción del conocimiento mantiene total independencia entre sí. Lo anterior facilita experimentar con el sistema y modificarlo, haciendo a éste más fácil explicar sus funciones a otro agente y también facilita el autoaprendizaje del sistema.

Los sistemas de razonamiento basados en reglas desempeñan un importante papel en la evolución de la inteligencia artificial, transformándola de una ciencia de laboratorio en una significativa “ciencia comercial”. Las reglas son la base de los programas de búsqueda. Se considera un conjunto de reglas para representar tanto el conocimiento acerca de las relaciones en el mundo, como el conocimiento para resolver problemas utilizando el contenido de las reglas.

Al construir sistemas expertos es ideal contar con técnicas de razonamiento para un modelo del mundo completo, consistente e inalterable. Desafortunadamente, en muchos dominios de problemas no es posible crear tales modelos, por lo que es necesario contar con técnicas de resolución de problemas con modelos incompletos e inciertos.

Existen varias técnicas de representación que pueden utilizarse para modelar los sistemas de creencias en los que, en un momento dado, o se determina que un hecho en particular es cierto o falso, o no se hace ninguna consideración al respecto. Sin embargo puede resultar adecuado describir las creencias sobre las que no se tiene certeza, pero en las que existen algunas evidencias que las apoyen (problemas en los que se da una cierta aleatoriedad, y en los que hay un comportamiento normal hasta que surge algún tipo de excepción). Los sistemas de razonamiento basados en modelos, y con base en las leyes de la teoría de la probabilidad, son empleados para razonar en situaciones de incertidumbre.

En este libro se han seleccionado cinco de estas estrategias de razonamiento:

- Razonamiento con encadenamiento de reglas hacia adelante
- Razonamiento con encadenamiento de reglas hacia atrás
- Razonamiento oportunístico,
- Razonamiento basado en casos
- Razonamiento diferencial

Éstas se consideraron como las más adecuadas para resolver problemas de tipo diagnóstico, dado que la base de conocimientos del sistema propuesto contiene hechos y reglas, que son adecuados para realizar los encadenamientos hacia adelante o hacia atrás, así como en un momento dado realizar un diagnóstico diferencial para decidir cuál de ellos es el más certero, y contener una biblioteca de casos semejantes para realizar una analogía con casos anteriores. En particular, las personas que realizan diagnósticos, por lo general se basan en estos tipos de razonamientos para llegar a un diagnóstico.

◇ El razonamiento por encadenamiento de reglas hacia adelante

El comportamiento de razonamiento por encadenamiento de reglas hacia adelante, razonamiento progresivo o comportamiento de razonamiento *forward*, es un proceso de búsqueda direccionado por los datos de entrada y requiere que todos los datos relevantes estén disponibles en el momento de iniciar las inferencias. En este tipo de razonamiento se parte de las evidencias primarias y posteriormente se usa el conocimiento contenido en las reglas para conocer hacia qué conclusión esas evidencias apuntan de forma más plausible.

Un sistema con encadenamiento hacia adelante trabaja de la siguiente forma: partiendo de una colección inicial de hechos (datos de entrada), el sistema intenta hallar todas las reglas cuyos antecedentes aparean con configuraciones formadas a partir de estos hechos. Las conclusiones de las reglas apareadas son utilizadas para generar nuevos hechos en la colección. Para esta nueva colección el proceso se repite, se hallan todas las reglas cuyas condiciones aparean con configuraciones de hechos formadas y se utilizan sus conclusiones para generar nuevos hechos. El proceso continúa hasta que una primera meta plausible es alcanzada o hasta que ya no pueden ser generadas nuevas metas.

El encadenamiento hacia adelante se desarrolla según el siguiente procedimiento:

- Hasta que ninguna regla produzca una nueva afirmación o el problema sea identificado.
- Para cada regla:
 - Trátese de corroborar cada antecedente de la regla mediante su pareamiento con hechos conocidos.
 - Si se corroboran todos los antecedentes de la regla, hágase valer el consecuente, a menos que ya exista una afirmación idéntica.
 - Repítase el procedimiento para todos los pareamientos y alternativas de sustitución.

◇ El razonamiento por encadenamiento de reglas hacia atrás

El razonamiento por encadenamiento de reglas hacia atrás, razonamiento regresivo o comportamiento de razonamiento *backward* es un proceso de búsqueda direccionado por las metas, y no requiere que toda la información relevante esté disponible en el momento de iniciar las inferencias, ya que los datos que no hayan sido introducidos inicialmente (o inferidos por el sistema experto) serán preguntados al usuario en el momento en que sean necesarios. En este tipo de razonamiento, son las metas o hipótesis las que dirigen el proceso. Una vez fijada la meta, es el conocimiento encerrado en las reglas el que indica qué hechos o evidencias deben buscarse. La búsqueda de las evidencias cesa cuando se ha probado la hipótesis o no existan más hechos que investigar.

Un sistema con encadenamiento hacia atrás trabaja de la siguiente forma: partiendo de la meta que se desea alcanzar, el sistema intenta hallar todas las reglas cuyas conclusiones aparezcan con esta meta. Algunos de los hechos que forman los antecedentes de las reglas apareadas pudieran ser conocidos, debi-

do a que fueron introducidos como datos iniciales, mientras que otros pudieran conocerse una vez que sean preguntados al usuario. Sin embargo, otros hechos pudieran no ser estados iniciales y aparear con la conclusión de alguna otra regla, constituyendo una nueva submeta, y por lo tanto, obligando a que continúe el proceso de encadenamiento hacia atrás. El proceso finaliza cuando una primera meta es alcanzada como verdadera o después de que todas las metas relevantes han sido exploradas.

El encadenamiento hacia atrás se desarrolla según el siguiente procedimiento:

- Hasta que todas las hipótesis se hayan intentado y ninguna se pueda comprobar o hasta que el problema sea identificado.
- Para cada hipótesis:
 - Para cada regla cuyo consecuente coincida con la hipótesis en cuestión:
 - Inténtese corroborar cada uno de los antecedentes de la regla mediante su pareamiento con afirmaciones de la memoria en funcionamiento o mediante encadenamiento regresivo a través de otra regla, creando nuevas hipótesis. Asegúrese de verificar todas las alternativas de pareamiento y sustitución.
 - Si todos los antecedentes de la regla logran ser corroborados, notifíquese el éxito y concluya que la hipótesis es verdadera.

◇ El razonamiento oportunístico

En ocasiones ciertos aspectos de un problema son mejor tratados por una vía de encadenamiento hacia adelante y otros aspectos por una vía de encadenamiento hacia atrás. Cuando éste es el caso, el razonamiento oportunístico resulta muy útil.

El razonamiento oportunístico es una combinación de los razonamientos por encadenamiento de reglas hacia adelan-

te (direccionado por los datos) y hacia atrás (direccionado por las metas). En este tipo de razonamiento el procesamiento general es hacia atrás, pero una vez obtenidas las evidencias éstas son utilizadas en un procesamiento hacia adelante. Esta combinación permite unir las ventajas de ambos tipos de razonamiento.

Un tipo de razonamiento oportunístico resulta muy beneficioso cuando son muchas las inferencias posibles que el sistema puede realizar, y cuando es muy probable que más de una vía de razonamiento pueda establecerse. Éste habilita a un sistema para realizar nuevas inferencias cuando nuevos datos de entrada han sido proporcionados, y para que también efectúe preguntas acerca de datos relevantes cuando nuevas metas han sido direccionadas.

◇ El razonamiento basado en casos

En el razonamiento basado en casos la mayoría de los programas de IA solucionan problemas razonando a partir de primeros principios. Éstos pueden explicar su razonamiento transmitiendo la red de deducciones que se forman desde el momento en que comienza la entrada de información hasta la conclusión. Sin embargo, con expertos humanos se ha observado a menudo un tipo de explicación diferente. Un experto, cuando encuentra un nuevo problema, normalmente trata de recordar casos similares que ya se hayan visto en el pasado, recordando los resultados de dichos casos y quizá el razonamiento que llevó a dicho resultado. Los nuevos problemas se resolverán, por tanto, por analogía con los antiguos, y las explicaciones se darán en términos de experiencias anteriores. Los expertos médicos, por ejemplo, parecen seguir este patrón, y la educación legal también está basada en casos.

A los sistemas informáticos que solucionan nuevos problemas por analogía con los antiguos se les llama a menudo sistemas de razonamiento basados en casos (*case-based reasoning*, CBR). Un sistema CBR funciona gracias a una extensa bibliote-

ca, en lugar de un conjunto de principios iniciales. Cada vez que se resuelve un problema se almacena automáticamente en la biblioteca de casos. A medida que la biblioteca va creciendo, se hace posible resolver nuevos problemas por analogía con otros más antiguos. El CBR se refiere a la idea de que los casos almacenados se pueden adaptar y modificar.

Ya que ni siquiera el mejor de los casos estará directamente relacionado con la situación que se nos presente, se tendrá que hacer una adaptación. En el nivel más sencillo, esto quiere decir que se deberán transformar los nuevos objetos con los antiguos que ya se conocen.

Entre las ventajas del razonamiento basado en casos se encuentran:

- La adquisición del conocimiento es mejorada: facilidad para construir, simpleza para mantener, menos caro para el desarrollo y el soporte.
- El tiempo de procesamiento es más rápido.
- Los datos y conocimiento existentes están estrechamente relacionados.
- No se requiere de un conocimiento del dominio completamente formalizado (el cual es requerido con reglas).
- Los expertos discuten casos concretos (no reglas generales).
- La explicación llega a hacer más fácil. Mejor que mostrar muchas reglas, puede mostrarse una secuencia lógica.
- La adquisición de nuevos casos es fácil (puede ser automatizado).
- El aprendizaje puede ocurrir de buenos resultados y fallas.

◇ El razonamiento diferencial

Éste es otro tipo de representación del conocimiento basado en reglas. El diagnóstico consiste en identificar las causas internas que provocan un problema, avería o disfunción a partir de una serie de datos o síntomas. Un diagnóstico diferencial se presenta cuando hay que comparar entre dos o más posibles entidades (problemas, averías o enfermedades) con los datos que tenemos y determinar a cuál de las entidades se parece más; para ello es necesario comparar y preguntar, para encontrar datos que faltan, los cuales determinan si es una u otra entidad la que se está presentando.

En los sistemas expertos que utilizan este proceso, primero se realiza un encadenamiento hacia adelante hasta llegar a dos o más posibilidades diagnósticas, y posteriormente un encadenamiento hacia atrás para reformular preguntas al usuario o buscar datos en la memoria de trabajo que permitan determinar cuál de las posibilidades diagnósticas es la más cercana al problema analizado.

Sistemas expertos multirrazonamientos

Definición de los sistemas expertos multirrazonamientos

Un sistema experto multirrazonamiento implica mecanismos de interacción cooperativa, que asignan sus múltiples agentes para trabajar juntos en la solución de un problema en común. Cuando el carácter de los agentes es heterogéneo, éstos pueden tener diferentes tareas que podían conceptualizarse como comportamientos, en el sentido de que ellos tienen un mundo que perciben, interno o externo, y que actúan autónomamente sobre esos mundos (Negrete y González, 1998, p.109).

Características de los sistemas expertos multirrazonamientos

Los sistemas expertos multirrazonamientos pueden ofrecer diferentes características. Se han construido sistemas con una o varias bases de conocimientos, con uno o varios nodos, con uno o varios sistemas de control, con una o varias estrategias de razonamientos, etcétera. Otra característica importante es cómo se lleva a cabo la cooperación; ésta puede ser intrasistema, tomando una tarea y dividiéndola en subtarear, distribuyéndola entre los diferentes elementos de cooperación (ya sea nodos si el sistema es distribuido, o bien cada tipo de razonamiento si el sistema es centralizado pero con cooperación intrasistema). También existe la opción de que todos los problemas los resuelva de la misma manera, o bien los resuelva de diferentes formas.

Arquitecturas de los sistemas expertos multirrazonamientos

El cometido de la IA es el diseño de un programa de agente: una función que permita implantar el mapeo del agente para pasar de percepciones a acciones. Se da por sentado que este programa se ejecutará en algún tipo de dispositivo de cómputo, al que se denominará arquitectura. Desde luego, el programa elegido debe ser aquel que la arquitectura acepte y pueda ejecutar. La arquitectura puede ser una computadora sencilla o hardware especial para la ejecución de ciertas tareas, como sería el procesamiento de imágenes de una cámara, o el filtrado de señales de entrada de audio. Podría incluir también un software que ofrezca cierto grado de aislamiento entre la computadora y el programa de agente, lo que permitiría la programación a un nivel superior. En general, la arquitectura pone al alcance del programa las percepciones obtenidas mediante los sensores, lo ejecuta y alimenta con las acciones elegidas por el programa conforme éstas se van generando. La relación entre agentes, arquitectura y programas podría resumirse de la siguiente manera:

agente = arquitectura + programa

Existen varias arquitecturas que utilizan los sistemas expertos multirrazonamientos, entre las cuales se encuentran:

- Arquitectura basada en reglas
- Arquitectura de pizarrón
- Arquitectura cognoscitiva
- Arquitectura de agente
- Arquitectura de planificación
- Arquitectura por reconocimiento de voz

Uno de los aspectos fundamentales de una arquitectura es la capacidad para incorporar una diversidad de tipos de forma de decisión, que va desde la deliberación basada en el conocimiento hasta las respuestas por reflejo. Para ello se han desarrollado varias arquitecturas utilizadas en la construcción de los sistemas expertos. Sin embargo, en este libro se ha seleccionado la arquitectura de pizarrón, dado que ésta se adecúa para realizar las funciones que desarrollará el sistema propuesto.

Dicha selección está basada en que, la arquitectura de pizarrón permite que las reglas contenidas en la base de conocimientos sean empaquetadas, según su tipo, en módulos autónomos e independientes conocidos como fuentes de conocimiento. Asimismo, la memoria de trabajo es estructurada en varios niveles de abstracción (conocido como estructura de pizarrón), y el mecanismo de inferencia es transformado en un mecanismo de control, que decide el orden en el cual las fuentes de conocimiento disparadas van a ejecutar su acción sobre el pizarrón.

La arquitectura de pizarrón

Las características de los sistemas expertos basados en reglas se encuentran subyacentes de alguna forma en la arquitectura y funcionamiento de los sistemas pizarrón. Éstos últimos parecen haber heredado y refinado muchos de los componentes de los sistemas expertos basados en reglas. Debido a ello, determinadas

transformaciones sobre los principales componentes de un sistema experto basado en reglas (base de conocimientos, memoria de trabajo y mecanismo de inferencia) permiten hacer de éste un sistema pizarrón. Se analizan a continuación algunas de estas transformaciones.

Las reglas contenidas en la base de conocimientos de un sistema basado en reglas son empaquetadas según su tipo (por ejemplo, en dependencia del tipo de conclusión al que éstas son capaces de arribar) en módulos autónomos e independientes, conocidos como fuentes de conocimiento. Una fuente de conocimiento es una estructura de la forma condición-acción, y en la gran mayoría de estos casos se define en términos de un conjunto de reglas de producción.

La memoria de trabajo (donde son almacenados los hechos de entrada, así como los nuevos hechos inferidos por las reglas) se estructura en varios niveles de abstracción, ahora conocida como pizarrón. Los hechos que se almacenan en la base de conocimientos son entonces creados en los diferentes niveles de abstracción según su tipo (o en dependencia del tipo de regla que los generó). Estos hechos son conocidos como hipótesis o elementos solución.

El mecanismo de inferencia es transformado en un mecanismo de control o despacho, cuya función principal es decidir el orden en el cual las fuentes de conocimiento disparadas van a ejecutar su acción sobre el pizarrón.

Al igual que en un sistema experto basado en reglas, en un sistema pizarrón los procesos de razonamiento son ejecutados a través de encadenamientos de reglas hacia adelante (direccionamiento por los eventos que ocurren sobre el pizarrón), encadenamientos de reglas hacia atrás (direccionamiento por las metas) o una combinación de ambos métodos.

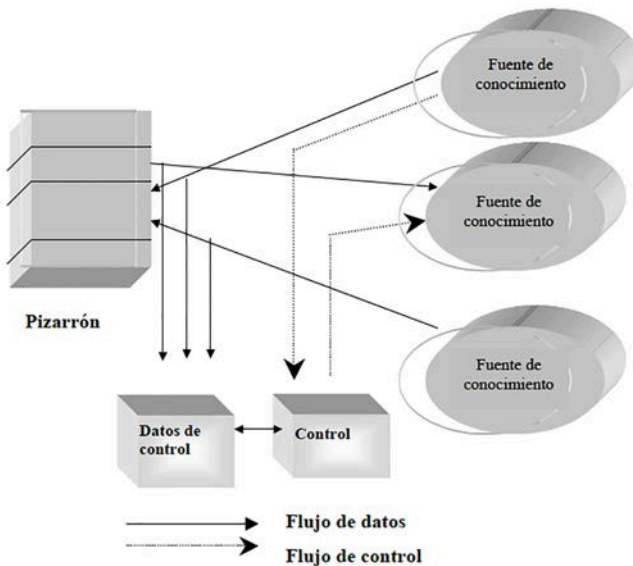
Según este enfoque, un sistema pizarrón hereda y elabora los componentes de un sistema experto basado en reglas, pa-

ra exhibir una nueva arquitectura que constituye la antesala a los sistemas expertos distribuidos: un sistema donde el razonamiento ha sido distribuido en entidades autónomas e independientes, las cuales se comunican entre sí a través de una base de datos comparada y obedecen a un control centralizado.

La arquitectura de pizarrón (Engelmore y Morgan, 1988; Hayes-Roth, 1985; Nii, 1989) es un término genérico el cual se refiere al diseño de un sistema pizarrón o a una parte de un sistema. La arquitectura de pizarrón fue desarrollada por primera vez por el sistema para la comprensión del lenguaje *Hearsay II*, usada en una gran variedad de otros dominios de problemas y resumida en muchos medioambientes para la construcción de sistemas.

La arquitectura de pizarrón está compuesta por los elementos que pueden ser apreciados en la figura 5.

Figura 5
Componentes de la arquitectura de pizarrón



Fuente: Elaboración propia.

◇ Las fuentes de conocimiento

Comúnmente, una fuente de conocimiento es la encargada de indicar cuándo los procesos de solución del problema han terminado. Esto pudiera ocurrir debido a que una solución aceptable ha sido hallada o debido a la falta de información o conocimientos que impide que el sistema continúe su desempeño.

Las fuentes de conocimiento son conjuntos de conocimiento representados como procedimientos, conjuntos de reglas o aserciones lógicas. Éstas poseen un formato condición-acción. La condición describe situaciones en las cuales la fuente de conocimiento puede contribuir a los procesos de solución del problema. Para que la condición de una fuente de conocimiento sea satisfecha, se requiere de una configuración particular de elementos solución sobre el pizarrón. La acción se vincula a la creación o modificación de elementos solución sobre el pizarrón.

De forma general, la actividad de las fuentes de conocimiento es direccionada por los eventos. Cada cambio sobre el pizarrón constituye un evento que, en presencia de otra información específica sobre el pizarrón, puede disparar (satisfacer la condición) una o más fuentes de conocimiento (RAFC). Sólo cuando un registro del RAFC es seleccionado por el mecanismo de control, la acción de la fuente de conocimiento asociada a éste es ejecutada, produciendo típicamente nuevos eventos (elementos de solución) sobre el pizarrón.

La estructura de pizarrón produce independencia y cooperación simultánea entre las fuentes de conocimiento. Éstas son, sin embargo, independientes en el sentido en que ellas mismas no invocan unas a otras, y comúnmente no tienen conocimiento. Son cooperativas en la medida que contribuyen elementos solución al problema compartido.

◇ El pizarrón

Los datos correspondientes al estado de la solución del problema son colocados en una “base de datos global” denominada pizarrón. Las fuentes de conocimiento producen cambios sobre el pizarrón los cuales conducen incrementalmente a la formación de una solución o conjunto aceptable de soluciones para el problema que se intenta resolver. La interacción entre las fuentes de conocimiento es indirecta y ésta sólo tiene lugar a través de los cambios producidos sobre el pizarrón.

El pizarrón consiste de elementos solución pertenecientes al espacio solución del problema. Estos elementos solución pueden ser datos de entrada, soluciones parciales, soluciones alternativas o soluciones finales.

Los elementos solución se encuentran organizados sobre el pizarrón en varios niveles de análisis o de abstracción. Los diferentes niveles de abstracción representan la solución del problema en diferente cantidad de detalle (o de contexto).

◇ El sistema de control

Debido a que las fuentes de conocimiento responden oportunamente a cambios sobre el pizarrón, es necesario un mecanismo de control que monitoree estos cambios y decida, en cada momento, cuáles acciones se deben tomar. El mecanismo de control utiliza varios tipos de información de gran utilidad, que se puede encontrar sobre el pizarrón o fuera de éste, para así determinar el foco de atención.

El foco de atención indica qué será lo próximo a ser procesado. Éste puede contener información referente a una fuente de conocimiento, a un elemento solución sobre el pizarrón, o a una combinación de ambos. La gran mayoría de los sistemas utilizan sólo una de estas tres posibilidades.

Durante el proceso de solución del problema, las fuentes de conocimiento y el mecanismo de control ejecutan sus actividades en la siguiente secuencia interactiva:

1. Ocurrencia de un evento sobre el pizarrón: una fuente de conocimiento ha generado o modificado un elemento solución sobre el pizarrón. Esta acción también ha producido un registro en una estructura de datos con información de control.

2. Cada una de las fuentes de conocimiento informa la contribución que puede hacer al nuevo estado de solución.

3. Teniendo en cuenta la información contenida en 1 y 2, el mecanismo de control selecciona un foco de atención.

4. El foco de atención es preparado para su ejecución teniendo en cuenta lo siguiente:

- Si el foco de atención es una fuente de conocimiento, un elemento solución del pizarrón (o un conjunto de elementos solución) es seleccionado para servir de contexto a su invocación.
- Si el foco de atención es un elemento solución del pizarrón, es seleccionada una fuente de conocimiento que sea capaz de producir este elemento solución.
- Si el foco de atención es una fuente de conocimiento y un elemento solución, la fuente de conocimiento se encuentra lista para su ejecución, siendo ésta ejecutada conjuntamente con el elemento solución de contexto.

El comportamiento en la solución de problemas de un sistema pizarrón está determinado por el desempeño del sistema de control. La selección de una región particular del pizarrón y de una fuente de conocimiento particular para operar sobre esta región determina el comportamiento del sistema en la solución de problemas.

Esta arquitectura resulta idónea para el sistema experto multirrazonamiento que se propone, ya que se intenta considerar una base de conocimientos centralizada que será el pizarrón, un único mecanismo de inferencia dado por el control y una versatilidad de técnicas de razonamiento distribuidas dadas por las fuentes de conocimiento.

La arquitectura de pizarrón del sistema experto multirrazonamiento para tareas de diagnóstico

La arquitectura de pizarrón que se presenta contempla la estructura y el funcionamiento adecuados para la construcción de un sistema experto multirrazonamiento que realiza tareas de diagnóstico.

Funcionamiento y estructura del sistema

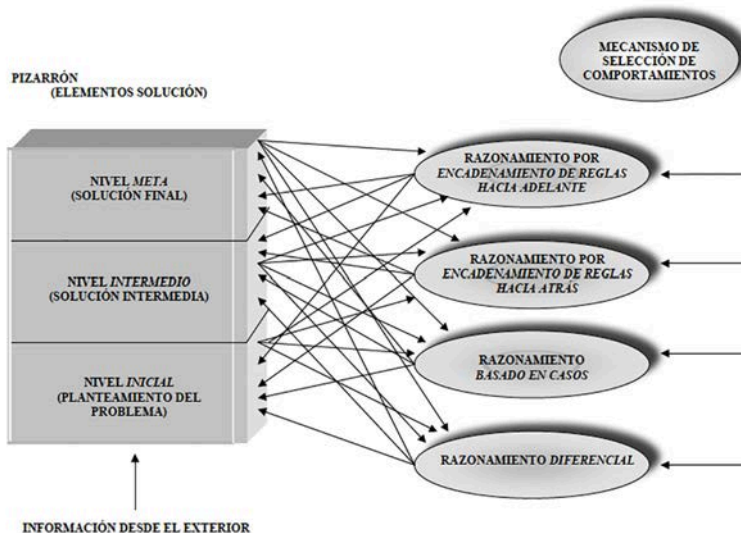
- La tarea que realiza este sistema es de diagnóstico, por lo que podrá detectar las fallas o desperfectos de una entidad a partir de la interpretación de datos observables.
- La arquitectura contempla metaconocimiento del dominio y de las estrategias de razonamiento. La aplicación que tenga este sistema dependerá de la base de conocimientos, es decir, el dominio del problema, y de las estrategias de razonamiento que se integren al mismo.
- El sistema aplica el multirrazonamiento, es decir ejecuta varias (cuatro) estrategias de razonamiento, las cuales son las más adecuadas para resolver problemas de diagnóstico. Los comportamientos seleccionados para el funcionamiento de este sistema son los razonamien-

tos por encadenamiento de reglas hacia adelante y hacia atrás, el razonamiento diferencial y el razonamiento basado en casos.

- La propiedad emergente de esta arquitectura viene dada por el proceso competitivo que se establece en cada paso de la solución del problema entre todos los comportamientos que pueden ser aplicados a la situación actual.

El control (mecanismo de competencia) y la información (pizarrón) son centralizados, mientras que las estrategias de razonamiento son distribuidas. Ello se conforma dentro de un solo nodo. Los elementos que integran la estructura del sistema multirrazonamiento propuesto son los siguientes: el pizarrón, los comportamientos y el mecanismo de selección de comportamientos. Los componentes y la interrelación entre éstos pueden ser apreciados en la figura 6.

Figura 6
Componentes del sistema experto multirrazonamiento para tareas de diagnóstico



Fuente: Elaboración propia.

Comentarios acerca de la arquitectura

El sistema propuesto, como una extensión de los sistemas expertos basados en reglas, constituye una generalización orientada al desarrollo de aplicaciones pizarrón, para la solución de tareas de diagnóstico.

Esta arquitectura permite que el sistema integre en su estructura los elementos necesarios, de forma tal que los componentes y la interrelación entre el pizarrón, los comportamientos y el mecanismo de selección de comportamientos, sean los adecuados para un buen funcionamiento del sistema. Asimismo, esta arquitectura permite realizar tareas de diagnóstico, ejecutar varias estrategias de razonamiento de manera emergente (estableciendo competencia entre cada tipo de razonamiento), tener un conocimiento del dominio del problema y de las diferentes estrategias de razonamiento.

Por ello, la arquitectura utilizada en este sistema, definida con base en las funciones que realiza el sistema y la estructura adecuada para el buen funcionamiento de éste, constituye una aproximación a la solución cooperativa de problemas de tipo diagnóstico.

El pizarrón

El pizarrón es la memoria de trabajo, y constituye la base de conocimientos dinámica del sistema experto. El pizarrón es una estructura de datos dividida en varios niveles de abstracción, los cuales representan la solución del problema en diferente cantidad de detalles. El pizarrón contempla el nivel inicial (donde pueden estar los datos de entrada), el nivel o niveles intermedios (donde se encuentran las soluciones parciales o soluciones alternativas) y el nivel meta (donde se encontrarán las soluciones finales o diagnóstico del problema). Sobre el pizarrón los comportamientos operan para resolver un problema planteado o una

parte de este problema. Los elementos creados sobre cada nivel del pizarrón se denominan elementos solución.

Los comportamientos

Un comportamiento es un método de razonamiento que tiene una parte condición y otra parte acción. La condición del comportamiento se refiere a una colección específica de elementos solución sobre el pizarrón. La parte acción se refiere a un elemento solución que podrá ser creado o modificado por el comportamiento sobre el pizarrón, siempre que la condición haya sido satisfecha. La forma particular en que cada elemento solución es creado depende del tipo de comportamiento.

Cada comportamiento tiene un conjunto de condiciones, las cuales han de ser satisfechas con el objetivo de que el comportamiento pueda potencialmente ser ejecutado. Cuando las condiciones o premisas de un comportamiento han sido satisfechas, el comportamiento es activado creando un registro del estado de actividad del comportamiento (REAC). Un REAC es una estructura de datos que describe las características de la acción activada por el comportamiento. Cuando un REAC es seleccionado por el mecanismo de selección de comportamientos (discutido más adelante), el comportamiento asociado con el REAC es ejecutado, produciendo típicamente un nuevo evento sobre el pizarrón.

Los comportamientos son las diferentes estrategias de razonamiento que el sistema es capaz de ejecutar. Por lo general, un sistema experto tradicional exhibe una sola estrategia de razonamiento. Sin embargo, ante la solución de un problema, el experto siempre aplicará todas aquellas estrategias de razonamiento que le permitan resolver el problema de la forma más eficiente. En otras palabras, la estrategia de razonamiento que resulta más adecuada para solucionar una parte del problema, no tiene por qué ser la más adecuada para resolver otra parte del mismo

problema. Además, no todos los problemas del dominio tienen que ser resueltos aplicando la misma técnica de razonamiento.

El sistema multirrazonamiento propuesto exhibe cuatro comportamientos (estrategias de razonamiento), que son los más adecuados y utilizados para resolver tareas de tipo diagnóstico.

- Encadenamiento de reglas hacia adelante
- Encadenamiento de reglas hacia atrás
- Basado en casos
- Diferencial

◇ El comportamiento del razonamiento por encadenamiento de reglas hacia adelante

El comportamiento de razonamiento por encadenamiento de reglas hacia adelante o comportamiento de razonamiento *forward* (CRF) contiene conocimiento específico acerca del dominio del sistema. Este conocimiento lo proporcionan las reglas de inferencia que forman cada CRF. Cada regla de inferencia tiene un formato condición-acción.

La condición de cada regla de inferencia describe la configuración de elementos solución sobre el pizarrón necesaria para que el CRF pueda contribuir a los procesos de solución del problema. La forma en que un CRF contribuye a la solución del problema es especificada en la acción de cada regla de inferencia.

La acción de una regla de inferencia está vinculada a la creación o modificación de elementos solución sobre el pizarrón.

La actividad del CRF es direccionada por los eventos. Es decir, cada cambio que se ejecute sobre el pizarrón constituye un evento que, en presencia de otra información específica sobre el pizarrón, puede disparar una o más reglas de inferencia dentro de un CRF. Cada disparo produce un único registro de activación del CRF (RACRF).

Cada vez que las condiciones de un CRF son satisfechas, éste ejecuta dos acciones. La primera acción consiste en la inscripción del RACRF en la lista de registros de activación de la fuente de conocimiento (RAFCs). La segunda acción es la que el CRF lleva a cabo una vez que el mecanismo de control ha seleccionado, en la lista de RAFCs, el RACRF asociado al CRF. Esta última acción consiste en la creación o modificación directa de algún elemento solución sobre el pizarrón del dominio.

◊ El comportamiento del razonamiento por encadenamiento de reglas hacia atrás

Al igual que los comportamientos de razonamiento *forward* (CRF) el comportamiento de razonamiento por encadenamiento de reglas hacia atrás o comportamiento de razonamiento *backward* (CRB) también constituye la creación de elementos solución sobre el pizarrón del dominio, aunque a diferencia del CRF la actividad del CRB es direccionada por las metas u objetivos, y no por los eventos que ocurren sobre el pizarrón.

La actividad del CRB constituye un proceso de encadenamiento de reglas hacia atrás (*backward*) encaminado a la construcción de un árbol de secuencias para generar los elementos solución. Las secuencias son iniciadas con la configuración o estado meta en la raíz del árbol. El próximo nivel del árbol es generado encontrando todas las reglas cuyas consecuentes o acciones aparecen con el nodo raíz. De poder aplicar sólo estas reglas, entonces se podría generar el estado meta deseado. Los antecedentes o condiciones de estas reglas son utilizados para generar los nodos en este segundo nivel del árbol.

El próximo nivel es generado tomando cada nodo en el nivel previo y encontrando todas las reglas cuyos consecuentes o acciones corresponden con éste, entonces se usan los antecedentes de las reglas correspondientes para generar los nuevos nodos en el próximo nivel del árbol. El proceso continúa hasta generar

una configuración de elementos solución que sólo correspondan con estados iniciales.

El CRB posee un formato condición-acción. La condición se satisface cuando no existe suficiente información (elementos solución) en los niveles inferiores del pizarrón del dominio, que garanticen el trabajo continuo de los CRF en la creación o modificación de elementos solución en niveles superiores del pizarrón. Por lo tanto, los procesos encaminados hacia la búsqueda de la solución del problema han sido detenidos.

Ante la ocurrencia de esta situación, el CRB se dispara, e inicia la construcción de un árbol de secuencias de generación de elementos solución, asignando a la raíz del árbol el elemento meta que se requiere investigar.

Cuando un nodo del árbol de secuencias ha sido seleccionado para completar su resolución, el CRB ejecuta una primera acción, la cual consiste en inscribir un registro de activación (RA-CRB) en la lista de RAFCS, que indica cuál elemento solución debe ser preguntado al usuario.

◇ El comportamiento del razonamiento basado en casos

El razonamiento basado en casos aborda la solución de nuevos problemas a través de la identificación y adaptación de soluciones de problemas similares almacenados en una libreta de casos (una librería de experiencias *a priori* en la solución de problemas).

La arquitectura de razonamiento de esta técnica consiste de dar componentes básicos: una librería de casos y un ciclo de inferencia, el cual utiliza métricas de similitud y métodos de adaptación. Los principales pasos que ejecuta el ciclo de inferencia son encontrar y recuperar desde la librería de casos, los casos más relevantes al problema bajo consideración, y entonces adaptar los casos recuperados al problema actual.

La esencia del razonamiento basado en casos consiste en la adaptación de casos recuperados desde la librería de casos para encontrar un plan o guía de acción para resolver el problema actual. A diferencia de otras arquitecturas de razonamiento, donde la solución es generada incrementalmente, el razonamiento basado en casos genera una solución completa inicialmente (el caso seleccionado desde la librería de casos), y entonces la adapta progresivamente para resolver el problema actual.

La adaptación de casos es un proceso difícil y muy dependiente del dominio.

Elementos estructurados del comportamiento del razonamiento basado en casos

El comportamiento del razonamiento basado en casos contempla los siguientes elementos estructurados:

Memoria de casos

La memoria de casos es una base de datos, que contiene representaciones de soluciones de problemas encontrados anteriormente (casos *a priori*). Estas soluciones o casos por lo general son representados utilizando un esquema de red.

Métricas de similitud

Cuando más de un caso es recuperado desde la memoria de casos, las métricas de similitud son entonces utilizadas para decidir cuál de todos los casos recuperados es el más similar a la situación actual.

Reglas de modificación

La función de las reglas de modificación es modificar el caso seleccionado de la memoria de casos para adaptar ésta a la situación actual. Es muy poco probable que un caso almacenado en la librería de casos aparezca exactamente con la situación actual (al menos en la etapa inicial cuando la memoria de casos aún no es rica en casos), por lo tanto un

proceso de modificación del caso es requerido.

Ciclo de inferencia del comportamiento del razonamiento basado en casos

El ciclo de inferencia del comportamiento del razonamiento basado en casos está conformado por:

1. **Presentación del problema.** El nuevo problema es presentado en términos de los hechos y/o relaciones que lo describen (planteamiento inicial del problema).
2. **Caracterización del problema.** Extraer los rasgos relevantes que caracterizan al problema actual. Estas características clave son usadas como índices para la posterior recuperación de casos.
3. **Recuperación de casos.** Los viejos casos similares son recuperados desde la librería de casos usando los rasgos previamente extraídos del problema actual (índices). Las métricas de similitud son usadas para determinar entre todos los casos similares extraídos, cuál es el que mejor aparee con la situación actual.
4. **Adaptación del caso.** La vieja solución es modificada para conformar la nueva solución resultando en una solución propuesta. Las reglas de modificación contienen conocimiento específico del dominio del problema.
5. **Prueba de la solución.** La solución propuesta (el caso adaptado) es probada para determinar si ésta es exitosa o falla para la situación actual. Si la solución es adecuada para la situación actual, entonces el problema es solucionado y se decide si el nuevo caso será almacenado en la memoria de casos o no. Si la solución aún no es adecuada (falla) para la situación actual, entonces es necesario continuar con la adaptación del caso.

◇ El comportamiento del razonamiento diferencial

La función del comportamiento del razonamiento diferencial es discriminar entre dos o más elementos solución generados en el nivel meta, los cuales constituyen causas probables del estado inicial presente en los primeros niveles del pizarrón.

Por lo general, estos elementos solución en el nivel meta pudieran ser causas relacionadas entre sí y aparecen con un nivel de certidumbre muy bajo, lo cual no permite establecer conclusiones válidas.

Una vez aplicado el razonamiento diferencial, éste utiliza los razonamientos por encadenamiento de reglas hacia delante o *forward* y hacia atrás o *backward*, para generar los elementos solución en los diferentes niveles del pizarrón que permiten establecer una diferenciación más clara entre los elementos solución en el nivel meta. Es decir, alguno de estos elementos incrementará su certidumbre, mientras otros no.

La estructura general de este tipo de comportamiento puede ser apreciada en la figura 7, donde θ es el valor de certidumbre máximo que pueden haber alcanzado los elementos solución en el nivel meta, para que la condición del comportamiento sea satisfecha. Nótese que para que la condición sea satisfecha, como mínimo dos elementos solución deben de haber sido creados en este nivel.

Figura 7

Estructura del comportamiento de razonamiento diferencial

```

IF  nivel_pizarrón = nivel_meta           and
    elemento_solución (Mi, CERTi)         and
    CERTi < □                             and
    elemento_solución (Mj, CERTj)         and
    CERTj < □                             or
(
    .
    .
    elemento_solución (Mk, CERTk)         and
    CERTk < □                             ) and
    elementos_solución_relacionados (Mi, Mj, .....Mk)
THEN Investigar (Mi)                       and
    Investigar (Mj)                         and
    :
    :
    Investigar (Mk)
}.

```

Fuente: Elaboración propia.

El mecanismo de selección de comportamientos

El mecanismo de selección de comportamientos tiene como función decidir, entre aquellos comportamientos disponibles para resolver una parte del problema, cuál es realmente el comportamiento más adecuado. Si un comportamiento es aplicable al estado actual de solución del problema, se dice que el comportamiento es “ejecutable”. Cuando un comportamiento es ejecutable, éste crea un registro del estado de actividad, el cual describe las características asociadas (nivel del pizarrón, importancia, certidumbre) con la acción que el comportamiento intenta ejecutar. Cada comportamiento tiene un conjunto de condiciones, las cuales han de ser satisfechas con el objetivo de que el comportamiento pueda potencialmente ser ejecutado. Cuando las condiciones o premisas de un comportamiento han sido satisfechas, el comportamiento es activado creando un registro del estado de actividad del comportamiento (REAC).

Un REAC es una estructura de datos, con los atributos de la figura 8. Los elementos del REAC serán discutidos más adelante.

Figura 8
Estructura del registro del estado de actividad
de un comportamiento

REAC
Certidumbre o creencia final de la hipótesis
Certidumbre o creencia actual de la hipótesis sobre el pizarrón
Fuerza de apareo de la regla
Importancia de la regla
Aporte neto
Nivel de activación

Fuente: Elaboración propia.

Un REAC describe las características de la acción activada por el comportamiento. Cuando un REAC es seleccionado por el mecanismo de selección de comportamientos, el comportamiento asociado con el REAC es ejecutado, produciendo típicamente un nuevo elemento sobre el pizarrón.

En cada ciclo de ejecución sólo un comportamiento es ejecutado. Para determinar el orden en el cual los comportamientos ejecutarán sus acciones finales se tienen en cuenta los siguientes dos criterios: el establecimiento de un orden jerárquico entre los diferentes tipos de comportamientos y un proceso competitivo entre los REACS de un mismo tipo.

◇ Orden jerárquico

El orden jerárquico establecido es el siguiente:

- REACS del tipo razonamiento basado en casos
- REACS del tipo razonamiento diferencial
- REACS del tipo razonamiento *forward*
- REACS del tipo razonamiento *backward*

Este orden jerárquico ha sido establecido tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Si ante el planteamiento del problema actual (configuración de elementos solución creada en los niveles del pizarrón) es posible recuperar un caso de la librería de casos que aparece con dicho planteamiento, entonces lo más recomendable es seguir la lógica propuesta por este caso para resolver el problema bajo consideración; por lo que el *razonamiento basado en casos* debe tomar precedencia sobre los restantes tipos de razonamiento.
- Siempre que en el nivel meta del pizarrón existan dos o más elementos solución creados con valores de certidumbre significativos pero aún no capaces de establecer una marcada diferencia entre éstos, entonces *el razonamiento diferencial* debe ser ejecutado, de forma tal que se decida entre todas las metas potenciales cuál es la más plausible.
- Si no existe algún caso en la librería de casos apropiado para la situación actual en el proceso de solución del problema, ni se han generado aún metas potenciales en el nivel meta del pizarrón; entonces el *razonamiento forward* debe ser ejecutado, siempre que exista alguna configuración de elementos solución sobre el pizarrón capaz de satisfacer al menos la condición de algún tipo particular de *razonamiento forward*. Si más de un tipo de *razonamiento forward* logra satisfacer sus condiciones, entonces un proceso competitivo debe to-

mar lugar entre éstos para determinar el conocimiento más adecuado a aplicar en la solución del problema (¿qué regla aplicar?).

- El razonamiento *backward* sólo será aplicado cuando ninguno de los anteriores tipos de razonamiento resulta aplicable. Es decir, ninguno de los casos de la librería de casos se corresponde con la situación actual en la solución del problema, no existen elementos solución creados en el nivel meta del pizarrón o los elementos solución hasta el momento creados en el pizarrón, correspondientes a estados iniciales y/o estados intermedios, son insuficientes y no permiten el disparo de algún tipo particular de *razonamiento forward*. Cuando éste es el caso, el *razonamiento backward* es aplicado, por lo que nuevos elementos solución serán creados en el pizarrón, lo cual a su vez originará que otros tipos de razonamiento puedan ser aplicados.

◇ Mecanismo de competencia entre REACs de un mismo tipo

La competencia es iniciada entre los diferentes REACs de un mismo tipo, creados por el comportamiento seleccionado según la jerarquía establecida, y que han logrado satisfacer sus condiciones. El comportamiento asociado con el registro del mayor valor de activación será seleccionado para ejecutar su acción final en este ciclo de ejecución. Un valor umbral es usado en esta competencia.

El algoritmo para la selección de comportamientos ejecuta un lazo, en el cual en cada ciclo de ejecución toman lugar las siguientes actividades sobre todos los REACs:

1. Cálculo del nivel de activación para cada REAC. Este proceso se realiza una vez que todos los comportamientos activados han creado sus correspondientes REACs. El cálculo del nivel

de activación es llevado a cabo por el mecanismo de selección de comportamientos (mecanismo de competencia). La condición de este mecanismo de competencia es satisfecha cuando existen registros inscritos dentro de algún nivel, para los cuales es necesario calcular o recalcular su nivel de activación. La acción de éste consiste en el cálculo o recálculo del nivel de activación para todos los comportamientos/registros seleccionados. El nivel de activación es una función de los parámetros que componen el registro, por lo tanto la forma de calcular el nivel de activación dependerá del tipo de comportamiento/registro seleccionado.

Los parámetros utilizados para calcular el nivel de activación de los REACS son los siguientes:

Para las reglas:

- Certidumbre o creencia final de la hipótesis
- Certidumbre o creencia actual de la hipótesis sobre el pizarrón
- Fuerza de apareo de la regla
- Importancia de la regla

Para los casos del razonamiento basado en casos:

- Fuerza de apareo del caso
- Importancia del caso

La certidumbre o creencia que se aporta a la hipótesis sobre el pizarrón es una medida de la cantidad de información nueva que se aporta a la hipótesis sobre el pizarrón, en caso de ser permitida la acción del mecanismo de selección de comportamientos asociada al comportamiento/registro. Esta certidumbre, denominada aporte neto, es el resultado de la diferencia entre las certidumbres o creencias finales de la hipótesis y la actual de la hipótesis sobre el pizarrón. Su expresión es:

$$\begin{aligned} \text{aporte neto} = & \text{certidumbre final de la hipótesis} \\ & - \text{certidumbre actual de la hipótesis sobre el pizarrón} \end{aligned}$$

Para el razonamiento basado en casos, evidentemente el aporte neto de los casos sería cero, dado que no existen las certidumbres o creencias ya que no hay hipótesis.

El cálculo del nivel de activación se realiza según la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{nivel de activación} &= \text{aporte neto} \\ &+ r_1 \times \text{fuerza de apareo de la regla (o del caso)} \\ &+ r_2 \times \text{importancia de la regla (o del caso)} \\ \text{donde } 0 &\leq r_1, r_2 \leq 1 \end{aligned}$$

El aporte neto brinda una medida de que tan “interesante” es la información que se aporta, mientras que el resto de los parámetros brinda una medida de que tan “completa” es esta información.

2. Selección del estado de actividad del comportamiento con el mayor nivel de activación. Una vez que el nivel de activación ha sido calculado para todos los REACS de los comportamientos registrados, entonces el mecanismo para la selección de comportamientos lleva a cabo la selección del registro con el mayor nivel de activación para su ejecución.

3. Ejecución del comportamiento asociado con el REAC seleccionado. Cuando el comportamiento con el mayor REAC ha sido seleccionado para su ejecución, el mecanismo para la selección de comportamientos invoca el comportamiento responsable de la creación de este registro para que éste ejecute su acción final: la creación o modificación del elemento solución correspondiente sobre el pizarrón.

De esta forma, las tres actividades iteran en un ciclo de tres pasos, determinando en cada ciclo de ejecución cuál REAC será ejecutado y llevando a cabo su ejecución.

Un sistema experto multirrazonamiento para el diagnóstico médico

El dominio de aplicación

El dominio de aplicación de este sistema experto multirrazonamiento para tareas de tipo diagnóstico es el diagnóstico médico, el cual, al igual que cualquier dominio de aplicación que requiere de la pericia humana para la solución de problemas, se convierte en un escenario probable para la aplicación exitosa de un sistema experto. Dado que un sistema experto requiere de un dominio de aplicación muy específico, se ha seleccionado el campo de enfermedades infecciosas infantiles. Entre las más comunes o frecuentes de ellas se encuentran: la rubéola, el sarampión, la roséola, la escarlatina, la varicela, el dengue, la tifoidea, la parotiditis viral o paperas, la parotiditis bacteriana, el crup espasmódico o laringitis estridulosa, la bronquiolitis infecciosa aguda, la neumonía, la otitis viral y la otitis bacteriana.

Dicho sistema tiene como base de conocimientos:

- Un conjunto de reglas conformadas por los signos y síntomas de dichas enfermedades que manifiesta el paciente a diagnosticar, para realizar un diagnóstico clínico, así como resultados de laboratorio para realizar

un diagnóstico de laboratorio, con el objetivo de que finalmente se genere un diagnóstico integral, con la aportación de ambos. Dichas reglas tienen un grado de certeza avalado por un pediatra, esto es, por un experto en el tema.

- Un conjunto de casos análogos, para que el sistema solucione nuevos problemas por analogía con los antiguos ya almacenados.

Cabe señalar que los datos de los elementos de los niveles del pizarrón y de las reglas con sus correspondientes certidumbres, fueron aportados por un pediatra en funciones.

El diagnóstico médico

El diagnóstico médico es el proceso encaminado a la identificación o reconocimiento de una enfermedad sobre la base de los signos y síntomas presentes, con el apoyo de los estudios de laboratorio y gabinete. El diagnóstico médico indica todo el proceso de investigación del paciente, a partir de las observaciones y razonamientos del médico para determinar la enfermedad.

El diagnóstico diferencial está íntimamente relacionado con la precisión diagnóstica y, por lo tanto, con la capacidad para poder agrupar enfermedades relacionadas, como entidades nosológicas o síndromes. Éste se incluye en el curso natural para lograr un diagnóstico final lo más depurado posible. La capacidad diagnóstica de un buen médico está relacionada directamente con su capacidad para poder ver todas las posibilidades diagnósticas para un cierto grupo de manifestaciones clínicas (signos, síntomas, pruebas de laboratorio y gabinete) y su capacidad para discernir, sobre la base de su experiencia, cuál de todos estos padecimientos es con mayor certeza la causa del proceso mórbido. La meta del diagnóstico diferencial es “arribar” a un diagnóstico específico, sobre la base de la exclusión razonada de otras enfermedades que tienen en común gran parte de los síntomas.

Algunos conceptos y términos médicos

Para lograr una mayor comprensión del dominio de aplicación y funcionamiento del sistema, es necesario introducir los siguientes conceptos y términos médicos relacionados: signos, síntomas, síndrome o entidad etiofisiopatológica, enfermedad o entidad nosológica y terapia o entidad terapéutica.¹

Signos

Un signo es la evidencia objetiva de una enfermedad, en especial cuando ésta es observada e interpretada más por el médico que por el paciente. Un signo físico es una indicación de la condición corporal que puede ser percibida directamente (por ejemplo, a través de la auscultación) cuando el médico examina al paciente. El signo es parte principal del proceso de diagnóstico médico, ya que su principal virtud es el ser un dato objetivo.

Como ejemplo de signos se pueden citar los siguientes asociados al diagnóstico de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda, dominio de aplicación de este sistema experto; todos ellos se obtienen durante el proceso de exploración física y por lo tanto sólo son detectados por el médico que realiza la exploración:

¹ De la Rosa Palacios, Jéssica. Comunicación personal, enero de 2000.

Tabla 1
Signos de la bronquiolitis infecciosa aguda

<i>DIAGNÓSTICO</i>	Bronquiolitis infecciosa aguda
<i>Signos</i>	Fiebre mayor a 39 Fiebre continua Fiebre de 2 a 3 días Tos seca Tos por accesos Dificultad respiratoria grave Odinofagia garganta roja Odinofagia de 2 a 3 días Apnea por periodos largos

Fuente: Elaboración propia.

◇ Pruebas de laboratorio

Las pruebas de laboratorio forman parte de los signos que presenta el paciente. Éstas, junto con el resto de los signos y síntomas, son una parte muy importante dentro de las reglas que se aplican en los encadenamientos, dado que el resultado del laboratorio ayuda al sistema a tomar una decisión sobre el diagnóstico diferencial que se aplica.

Como ejemplo de prueba de laboratorio, se puede citar el siguiente asociado al diagnóstico de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda, dominio de aplicación de este sistema experto:

Tabla 2
Pruebas de laboratorio para la bronquiolitis infecciosa aguda

<i>DIAGNÓSTICO</i>	Bronquiolitis infecciosa aguda
<i>Pruebas de laboratorio</i>	Biometría hemática leucocitosis

Fuente: Elaboración propia.

Síntomas

El síntoma es cualquier prueba subjetiva de enfermedad o del estado de un paciente. Se refiere a los datos proporcionados por el paciente, relacionados con alguna enfermedad. Son subjetivos, matizados por el padecimiento y las características psicológicas, sociológicas y biológicas del paciente. Es decir, el síntoma “dolor de ganglios” referido por un paciente pudiera estar matizado por su capacidad para resistir el dolor, su historia sobre antecedentes de dolores semejantes y su fortaleza para soportarlo.

Durante el proceso de diagnóstico médico, los síntomas ayudan a localizar al sistema anatómico que pudiera estar comprendido o asociado a la enfermedad del paciente, como es el caso de los síntomas: dolor de garganta (odinofagia), dificultad para deglutir (disfagia), o síntomas digestivos (diarrea, estreñimiento). También existen síntomas totalmente inespecíficos y que pudieran estar, por lo tanto, asociados a muchas enfermedades y aunque no orientan directamente al sistema anatómico afectado, sí refieren sobre la intensidad o evolución del padecimiento. Por ejemplo, astenia, adinamia y anorexia, los cuales pudieran presentarse desde el inicio o aparecer durante la evolución del padecimiento.

Como ejemplo de síntoma se pueden citar el siguiente asociado al diagnóstico de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda, dominio de aplicación de este sistema experto:

Tabla 3
Síntomas de la bronquiolitis infecciosa aguda

<i>DIAGNÓSTICO</i>	Bronquiolitis infecciosa aguda
<i>Síntomas</i>	Ardor de garganta intenso

Fuente: Elaboración propia.

Entidad etiofisiopatológica o síndrome

La entidad etiofisiopatológica, comúnmente llamada síndrome, es el grupo de signos y síntomas que se manifiestan simultáneamente y que, considerados como un todo, son característicos de cierta enfermedad. Existen procesos mórbidos, o grupo de enfermedades que se caracterizan siempre por la presencia de ciertos signos y síntomas, y cuando éstos no están presentes en su totalidad, no es posible arribar a ese diagnóstico sindromático. En el proceso diagnóstico, el síndrome puede ocupar el diagnóstico final o el paso previo a este diagnóstico cuando no se puede encontrar la causa definitiva y única de ese síndrome. Como ejemplo de síndrome podemos citar el síndrome exantemático, el cual se caracteriza por la presencia de exantema y fiebre generalizados. Este síndrome generalmente es percibido por el paciente (síntoma) y durante el proceso de exploración lo describe el médico (signo). Si faltara alguno de estos datos, ya no estaríamos en presencia de un síndrome exantemático.

Como ejemplo de síndrome podemos citar el siguiente, asociado al diagnóstico de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda, dominio de aplicación de este sistema experto:

Tabla 4
Síndrome asociado a la bronquiolitis infecciosa aguda

<i>DIAGNÓSTICO</i>	Bronquiolitis infecciosa aguda
<i>Síndrome</i>	Ira

Fuente: Elaboración propia.

Entidad nosológica o enfermedad

Relacionado a la nosología (del griego *nosos*: enfermedad y *logos*: palabra, razón, tratado), la enfermedad es un dato físico y funcional, manifestado por síndromes y comprobado por análisis de laboratorio y estudios de gabinete.

Como ejemplo de las enfermedades en el dominio de aplicación de este sistema experto, podemos citar a la bronquiolitis infecciosa aguda, que es una enfermedad infecciosa infantil, la cual es de las más comunes o frecuentes entre los niños.

Entidad terapéutica o terapia

La entidad terapéutica o terapia es el tratamiento dado al paciente. Como ejemplo de la terapia aplicada a la bronquiolitis infecciosa aguda, dominio del problema, se puede citar la siguiente:

Tabla 5
Terapia aplicada a la bronquiolitis infecciosa aguda

<i>DIAGNÓSTICO</i>	Bronquiolitis infecciosa aguda
<i>Terapia</i>	Sintomático y de soporte (antitérmicos, broncodilatadores, oxigenoterapia y nebulizaciones)

Fuente: Elaboración propia.

La relación de diagnósticos a los que el sistema puede arribar en esta aplicación, que es la de las enfermedades infecciosas infantiles más comunes, son: la rubéola, el sarampión, la roséola, la escarlatina, la varicela, el dengue, la tifoidea, la parotiditis viral o paperas, la parotiditis bacteriana, el crup espasmódico o laringitis estridulosa, la bronquiolitis infecciosa aguda, la neumonía, la otitis viral y la otitis bacteriana.

Estructura y funcionamiento del sistema experto multirrazonamiento

El pizarrón

El pizarrón del dominio organiza los elementos solución o hipótesis en cinco niveles de abstracción, como se muestra en la figura 9, y que son:

- Signos y síntomas grano grueso (SSGG)
- Signos y síntomas grano fino (SSGF)
- Entidades etiofisiopatológicas (EEFP)
- Entidad nosológica (EN)
- Entidad terapéutica (ET)

Los elementos solución en el nivel SSGG corresponden de forma general a entradas primarias aportadas por el usuario. Éstos constituyen manifestaciones objetivas o subjetivas de alguna enfermedad en particular y son expresados en muy poco nivel de detalle.

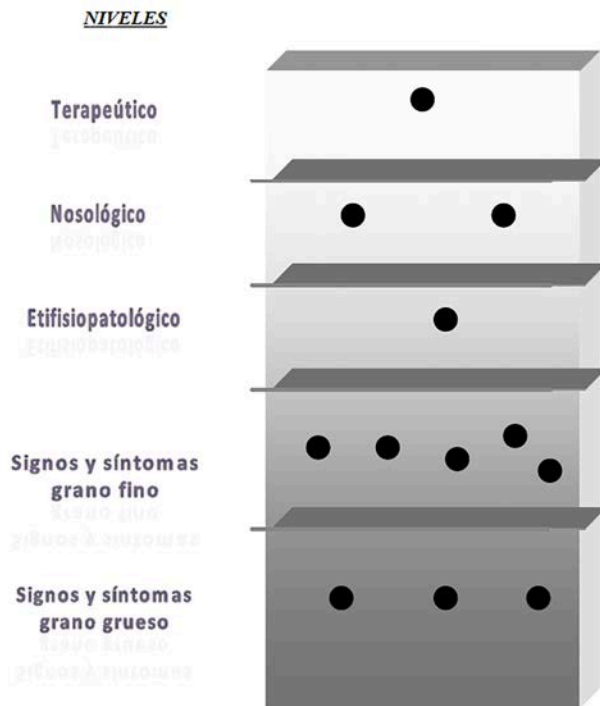
Los elementos solución en el nivel SSGF son producto del refinamiento o especificación de los elementos solución creados en el nivel SSGG, aunque algunos de éstos pudieran ser producto de entradas primarias aportadas directamente por el usuario del nodo. Son manifestaciones objetivas o subjetivas de alguna enfermedad en particular y se expresan en el más elevado nivel de detalle.

Los elementos solución en el nivel EEFP representan entidades etiofisiopatológicas, y son creados a partir de configuraciones particulares de signos y síntomas en los niveles SSGG y SSGF.

Los elementos solución en el nivel EN representan enfermedades que son especificaciones de entidades etiofisiopatológicas (nivel EEFP), manifestadas por la presencia de signos y síntomas (niveles SSGG y/o SSGF) y corroboradas por análisis de laboratorio y estudios de gabinete.

Los elementos solución en el nivel ET son los planes terapéuticos o tratamientos adecuados para las entidades nosológicas generadas en el nivel EN.

Figura 9
Niveles de abstracción del pizarrón en el dominio del diagnóstico médico



Fuente: Elaboración propia.

◊ Elementos de los niveles del pizarrón del dominio de las enfermedades infecciosas infantiles

Los elementos de los niveles del pizarrón son:

Signos y síntomas de grano grueso:

Signos de grano grueso

fiebre
tos
dificultad respiratoria
odinofagia
apnea
estridor
rinorrea
hipoventilación
exantema
adenopatías
conjuntivitis
enanterema
coriza
linfadenopatías
vómito
crecimiento de parótidas
inflamación del tímpano
otorrea
pruebas de laboratorio

Síntomas de grano grueso

ardor de garganta
cefalea
trastornos digestivos
dolor a la masticación
dolor de parótidas
otalgia
hipoacusia
malestar general

Signos y síntomas de grano fino:

Signos de grano fino

fiebre continua
fiebre discontinua
fiebre de 1 a 2 días
fiebre de 2 a 3 días
fiebre de 3 a 5 días
fiebre en picos

fiebre vespertina
fiebre mayor a 39
fiebre mayor a 38
fiebre mayor a 37
fiebre de 38 a 39
fiebre de 38 a 39.5
tos seca
tos por accesos
tos con flema
tos frecuente
dificultad respiratoria leve a moderada
dificultad respiratoria grave
dificultad respiratoria polipnea
dificultad respiratoria tiraje
odinofagia de 2 a 3 días
odinofagia garganta roja
rinorrea transparente
estridor laríngeo
apnea periodos largos
hipoventilación crepitante pulmonar
crecimiento de parótidas
exantema máculas
exantema maculopapuloso
exantema vesículas
exantema no confluyente
exantema confluyente
exantema inicia en cara
exantema inicia en tronco
exantema inicia en cuero cabelludo
exantema inicia en palmas y plantas
exantema inicia en abdomen y pecho
exantema petequias
exantema dispersas
exantema eritematoso
exantema costras
exantema puede producir escamas
exantema piel de lija
exantema escamas
exantema rosa
exantema rosa pálido
exantema rojo
exantema evanescente
adenopatías retroauricular
adenopatías dolorosas
adenopatías todos los ganglios
linfadenopatías en todos los ganglios
conjuntivitis intensa
conjuntivitis moderada

coriza moderada

enanterema placas de Koplick

vómito intenso

dolor a masticación acompañado con borramiento del ángulo

mandibular

crecimiento de parótidas

inflamación del tímpano de 2 a 3 días

inflamación del tímpano rojo

otorrea abundante

otorrea escasa

otorrea purulenta

otorrea transparente

otorrea fétida

otorrea sin olor

otorrea no existe

estridor laríngeo

resultados de laboratorio biometría hemática positiva

resultados de laboratorio biometría hemática leucopenia

resultados de laboratorio biometría hemática linfocitosis

resultados de laboratorio biometría hemática leucocitosis

resultados de laboratorio biometría hemática neutrofilia

resultados de laboratorio biometría hemática neutropenia

resultados de laboratorio biometría hemática eosinofilia

resultados de laboratorio exudado faríngeo estreptococo

neumonia

resultados de laboratorio exudado faríngeo hemofilius

influenza

resultados de laboratorio exudado faríngeo escherichia

coli

resultados de laboratorio exudado de oído estreptococo

hemolítico

Síntomas de grano fino

ardor de garganta intenso

cefalea constante

cefalea dolor retroocular

trastornos digestivos diarrea

trastornos digestivos estreñimiento

dolor a la masticación espontáneo agudo

dolor de parótidas

otalgia intensa

otalgia continua

hipoacusia de 2 a 3 días

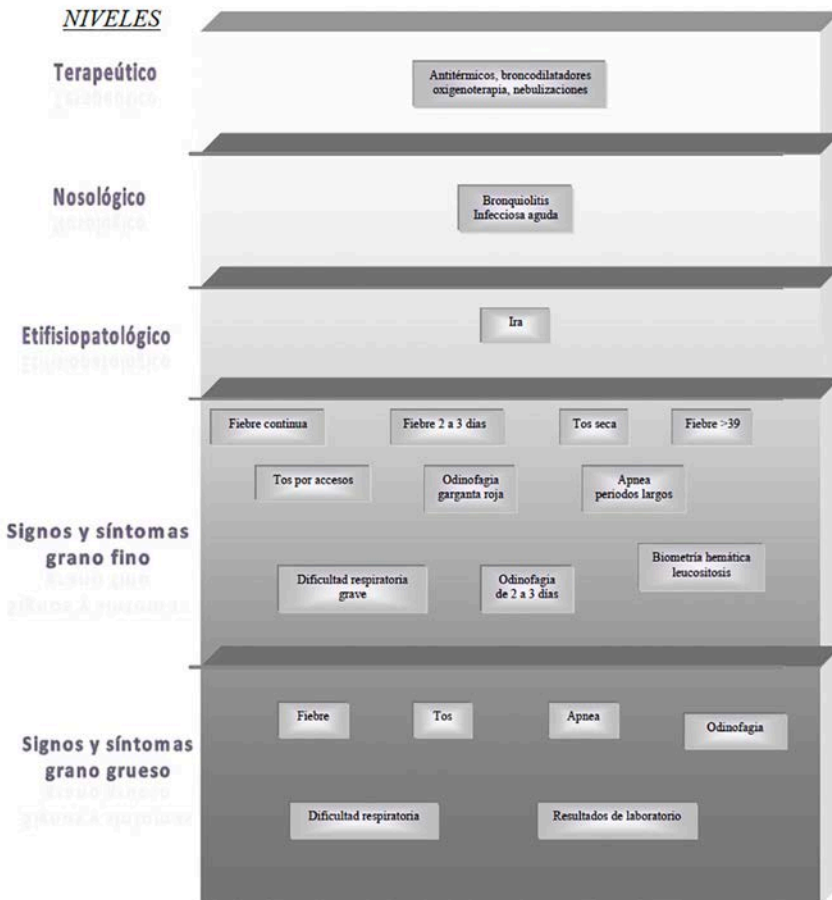
Entidades etiofisiopatológicas o síndromes:
enfermedad exantemática
parotiditis
ira
otitis

Entidades nosológicas o enfermedades:
rubéola
sarampión
roséola
escarlatina
varicela
dengue
tifoidea
parotiditis viral o paperas
parotiditis bacteriana
crup espasmódico o laringitis estridulosa
bronquiolitis infecciosa aguda
neumonía
otitis viral
otitis bacteriana

Entidades terapéuticas o terapia:
sintomático y de soporte:
antitérmicos
antitérmicos (excepto aspirina)
antibióticos: penicilina, eritromicina, ampicilina,
cloranfenicol, trimatropima-sulfametaxazol, cefuroxona,
penicilina G, amoxicilina
hidratación
humidificaciónaire frío
sedación
tranquilizar al paciente
broncodilatadores
oxigenoterapia
nebulizaciones
antitusígenos

Como ejemplo, se muestran en la figura 10 los elementos por niveles del pizarrón asociados al diagnóstico de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda.

Figura 10
Niveles de abstracción del pizarrón en el dominio
de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda



Fuente: Elaboración propia.

Los comportamientos

Como ya se ha mencionado anteriormente, se han elegido cuatro comportamientos o estrategias de razonamiento, sin embargo en esta sección se analizarán únicamente los razonamientos por encadenamiento de reglas hacia adelante y diferencial, ya que son comportamientos particulares; los razonamientos por encadenamiento de reglas hacia atrás y el basado en casos son comportamientos genéricos, por lo que no es posible hacer una representación como en los casos anteriores.

◇ El comportamiento del razonamiento por encadenamiento de reglas hacia adelante

Las fuentes de conocimiento de razonamiento por encadenamiento de reglas hacia adelante o comportamientos *forward* poseen conocimiento específico acerca del dominio del sistema (enfermedades infecciosas infantiles), y su función consiste en la creación o modificación de elementos solución sobre el pizarrón del dominio.

Los comportamientos *forward* empaquetan reglas fundamentales para refinar los signos y síntomas y para inferir las entidades etiofisiopatológicas, nosológicas y terapéuticas. Por ello, se definen los siguientes paquetes de reglas: **Csigno_síntoma** (para refinar los signos y síntomas), **Cetiofisiopatología** (para inferir las entidades etiofisiopatológicas), **Cenfermedades** y **Cnosología** (para inferir las entidades nosológicas) y **Cterapia** (para inferir las entidades terapéuticas).

Para hacer más transparente el funcionamiento del comportamiento *forward* y la aplicación de los paquetes de reglas, en el sistema experto multirrazonamiento para tareas de diagnóstico, dentro del dominio del problema (diagnóstico médico: enfermedades infecciosas infantiles), se ha seleccionado una sola enfermedad, la denominada bronquiolitis infecciosa aguda.

◇ Refinamiento de signos y síntomas:

Paquete de reglas *Csigno_síntoma*

Para refinar los signos y síntomas aplicados al dominio del problema, se le hacen preguntas al usuario sobre la certeza de tener los signos y síntomas del grano grueso y posteriormente los del grano fino.

Preguntas para obtener los signos y síntomas de grano grueso:

¿Qué tiene el paciente?

fiebre

tos

dificultad respiratoria

odinofagia

apnea

ardor de garganta

estridor

rinorrea

hipoventilación

exantema

adenopatías

conjuntivitis

enantema

coriza

linfadenopatías

cefalea

vómito

trastornos digestivos

dolor a la masticación

dolor de parótidas

otalgia

inflamación del tímpano

otorrea

hipoacusia

malestar general

De estas preguntas, a las que obtuvieron como respuesta un valor “uno” en la certidumbre, se les aplica un refinamiento, para aumentar el detalle de los signos y síntomas de grano grueso del nivel ssgg del pizarrón, ejecutándose el paquete de reglas *Csigno_síntoma*, aplicándose las siguientes reglas:

IF (fiebre)

THEN (fiebre=mayor a 39,1.0)	or
(fiebre=continua,1.0)	or
(fiebre=1 a 2 días,1.0)	or
(fiebre=2 a 3 días,1.0)	or
(fiebre=3 a 5 días,1.0)	or
(fiebre=en picos,1.0)	or
(fiebre=vespertina,1.0)	or
(fiebre=mayor a 39,1.0)	or
(fiebre=mayor a 38,1.0)	or
(fiebre=mayor a 37,1.0)	or
(fiebre=de 38 a 39,1.0)	or
(fiebre=de 38 a 39.5,1.0).	

IF (tos)

THEN (tos=seca,1.0)	or
(tos=por accesos,1.0)	or
(tos=con flema,1.0)	or
(tos=frecuente,1.0).	

IF (dificultad respiratoria)

THEN (dificultad respiratoria=leve a moderada,1.0)	or
(dificultad respiratoria=grave,1.0)	or
(dificultad respiratoria=polipnea,1.0)	or
(dificultad respiratoria=tiraje,1.0).	

IF (odinofagia)

THEN (odinofagia=2 a 3 días,1.0)	or
(odinofagia=garganta roja,1.0).	

IF (rinorrea)

THEN (rinorrea transparente,1.0).

IF (estridor)

THEN (estridor=laríngeo,1.0).

IF (apnea)

THEN (apnea=periodos largos,1.0).

IF (hipoventilación)

THEN (hipoventilación=crepitante pulmonar,1.0).

IF (crecimiento de parótidas)

THEN (crecimiento de parótidas,1.0).

IF (exantema)

THEN (exantema=máculas,1.0)	or
(exantema=maculopapuloso,1.0)	or

```

(exantema=vesículas,1.0) or
(exantema=no confluyente,1.0) or
(exantema=confluyente,1.0) or
(exantema=inicia en cara,1.0) or
(exantema=inicia en tronco,1.0) or
(exantema=inicia en cuero cabelludo,1.0) or
(exantema=inicia en palmas y plantas,1.0) or
(exantema=inicia en abdomen y pecho,1.0) or
(exantema=petequias,1.0) or
(exantema=dispersas,1.0) or
(exantema=eritematoso,1.0) or
(exantema=costras,1.0) or
(exantema=puede producir escamas,1.0) or
(exantema=piel de lija,1.0) or
(exantema=escamas,1.0) or
(exantema=rosa,1.0) or
(exantema=rosa pálido,1.0) or
(exantema=rojo,1.0) or
(exantema=evanescente,1.0).

```

IF (adenopatías)

```

THEN (adenopatías=retroauricular,1.0) or
      (adenopatías=dolorosas,1.0) or
      (adenopatías=todos los ganglios,1.0).

```

IF (linfadenopatías)

```

THEN (linfadenopatías=todos los ganglios,1.0).

```

IF (conjuntivitis)

```

THEN (conjuntivitis=intensa,1.0) or
      (conjuntivitis=moderada,1.0).

```

IF (coriza)

```

THEN (coriza=moderada,1.0).

```

IF (enantema)

```

THEN (enantema=placas de Koplick,1.0).

```

IF (vómito)

```

THEN (vómito=intenso,1.09).

```

IF (dolor a masticación)

```

THEN (dolor a masticación=acompañado con
      borramiento del ángulo mandibular,1.0) or
      (dolor a masticación=espontáneo agudo,1.0).

```

```

IF (crecimiento de parótidas)
THEN (crecimiento de parótidas,1.0) .

IF (inflamación del tímpano)
THEN (inflamación del tímpano=2 a 3 días,1.0)           or
      (inflamción del tímpano=rojo,1.0) .

IF (otorrea)
THEN (otorrea=abundante,1.0)                             or
      (otorrea=escasa,1.0)                               or
      (otorrea=puro lenta,1.0)                           or
      (otorrea=transparente,1.0)                         or
      (otorrea=fétida,1.0)                               or
      (otorrea=sin olor,1.0)                             or
      (otorrea=no existe,1.0) .

IF (estridor)
THEN (estridor=laríngeo,1.0) .

IF (resultados de laboratorio)
THEN (resultados de laboratorio=biometría
      hemática positiva,1.0)                             or
      (resultados de laboratorio=biometría
      hemática leucopenia,1.0)                           or
      (resultados de laboratorio=biometría
      hemática linfocitosis,1.0)                         or
      (resultados de laboratorio=biometría
      hemática leucocitosis,1.0)                         or
      (resultados de laboratorio=biometría
      hemática neutrofilia,1.0)                         or
      (resultados de laboratorio=biometría
      hemática neutropeña,1.0)                         or
      (resultados de laboratorio=biometría
      hemática eusinofilia,1.0)                         or
      (resultados de laboratorio=exudado faríngeo
      estreptococo neumonice,1.0)                       or
      (resultados de laboratorio= exudado faríngeo
      hemofilus influenza,1.0)                         or
      (resultados de laboratorio= exudado faríngeo
      esqueriquia coli,1.0)                             or
      (resultados de laboratorio= exudado de oído
      estreptococo hemolítico,1.0) .

```

IF (ardor de garganta)

THEN (ardor de garganta=intenso,1.0).

IF (cefalea)

Then (cefalea=constante,1.0)

or

(cefalea=dolor retrocular,1.0).

IF (trastornos digestivos)

THEN (trastornos digestivos=diarrea,1.0)

or

(trastornos digestivos=estreñimiento,1.0).

IF (dolor de parótidas)

THEN (dolor de parótidas,1.0).

IF (otalgia)

THEN (otalgia=intensa,1.0)

or

(otalgia=continua,1.0).

IF (hipoacusia)

THEN (hipoacusia=2 a 3 días,1.0).

IF (malestar general)

THEN (malestar general,1.0).

Preguntas para obtener los signos y síntomas de grano fino, mismas que deberán obtener un valor mayor a cero en la certidumbre:

¿Qué tiene el paciente?

fiebre continua

fiebre de 1 a 2 días

fiebre de 2 a 3 días

fiebre de 3 a 5 días

fiebre en picos

fiebre vespertina

fiebre mayor a 39

fiebre mayor a 38

fiebre mayor a 37

tos seca

tos por accesos

tos con flema

tos frecuente

dificultad respiratoria leve a moderada

dificultad respiratoria grave

dificultad respiratoria polipnea

dificultad respiratoria tiraje

odinofagia de 2 a 3 días

odinofagia garganta roja

ardor de garganta intenso

rinorrea transparente

estridor laríngeo

apnea periodos largos

hipoventilación crepitante pulmonar

La función del paquete de reglas **Csigno_síntoma** consiste en refinar o aumentar el nivel de detalle de signos y síntomas creados en el nivel SSG del pizarrón del dominio.

Cuando un elemento solución (signo o síntoma) ha sido creado en el nivel SSG, el paquete de reglas **Csigno_síntoma** se dispara ejecutando las siguientes acciones:

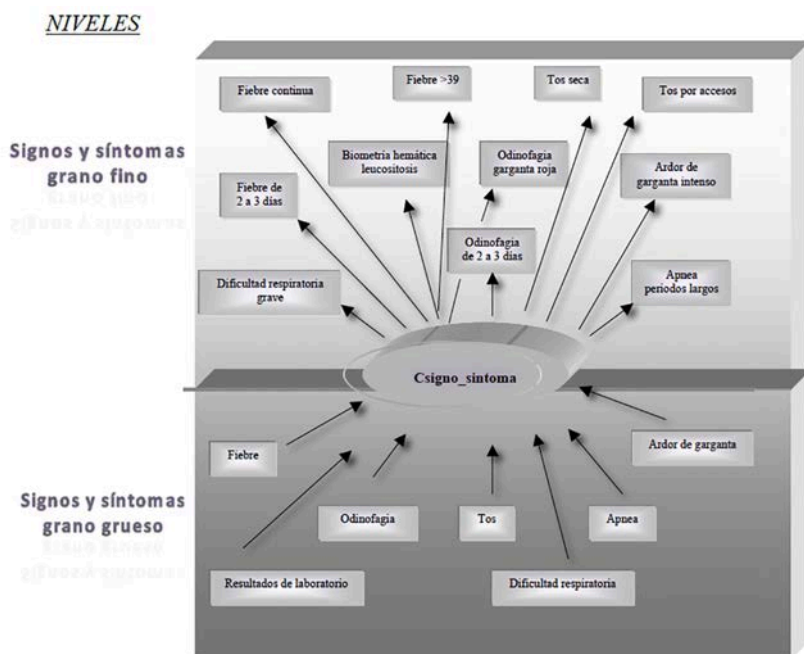
- Interroga al usuario acerca de las características del signo o síntoma creado, generando de esta forma nuevos hechos asociados al signo o síntoma. Cada nuevo hecho creado expresa alguna característica de interés presente o ausente en el signo o síntoma en cuestión.

- Para cada nuevo hecho creado, inscribe un registro de activación en el bloque de registros de los comportamientos.
- Cuando el mecanismo de control selecciona para su ejecución alguno de los registros creados por **Csigno_síntoma**, éste ejecuta su acción final, la cual consiste en la creación del elemento solución asociado a dicho registro en el nivel SSGF del pizarrón del dominio.

La figura 11 muestra la acción final llevada a cabo por **Csigno_síntoma** en el nivel SSGF, una vez que ha logrado satisfacer alguna de sus condiciones sobre el nivel SSG.

Figura 11

Ejemplo que muestra la actividad del paquete de reglas **Csigno_síntoma** en el dominio de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda



Fuente: Elaboración propia.

◇ Inferencia de entidades etiofisiopatológicas:

Paquete de reglas *Cetiofisiopatología*

Para inferir las entidades etiofisiopatológicas, se aplican las siguientes reglas, ejecutándose *Cetiofisiopatología*.

La regla para inferir las entidades etiofisiopatológicas aplicadas al dominio del problema es:

```
IF (fiebre)                                and
   (tos)                                  and
   (dificultad respiratoria)
THEN (ira,0.60).
```

La función del paquete de reglas *Cetiofisiopatología* consiste en identificar las posibles entidades etiofisiopatológicas presentes, a partir de las configuraciones de signos y síntomas creadas en el nivel SSG del pizarrón del dominio.

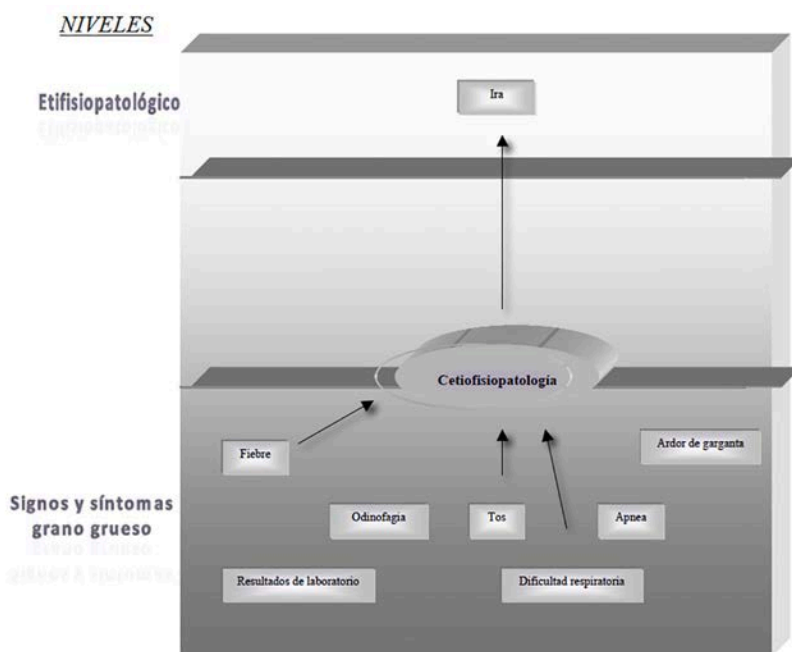
La creación de un nuevo elemento solución en el nivel SSG constituye un evento que en presencia de la restante información contenida en estos niveles, genera nuevas configuraciones de signos y síntomas.

Cuando alguna configuración particular logra satisfacer alguna de las condiciones o antecedentes de *Cetiofisiopatología*, éste se dispara ejecutando las siguientes acciones:

- Inscribe en el bloque de registros de los conocimientos un nuevo registro de activación con información relevante acerca del elemento solución que intenta crear.
- Cuando el mecanismo de control selecciona para su ejecución el registro creado por *Cetiofisiopatología*, éste ejecuta su acción final, la cual consiste en crear en el nivel EEPF del pizarrón del dominio el elemento solución especificado en el registro de activación.

La figura 12 muestra la acción final que ejecuta **Cetiofisiopatología** en el nivel EEPF, una vez que ha logrado satisfacer alguna de sus condiciones sobre el nivel SSGG.

Figura 12
Ejemplo que muestra la actividad del paquete de reglas
Cetiofisiopatología en el dominio de la enfermedad
bronquiolitis infecciosa aguda



Fuente: Elaboración propia.

◇ Inferencia de entidades nosológicas: Paquete de reglas *Cenfermedades y Cnosología*

Para inferir las entidades nosológicas se aplican las siguientes reglas, ejecutándose *Cenfermedades y Cnosología*.

La regla para inferir las entidades nosológicas, con poca certidumbre o creencia, aplicada al dominio del problema, es:

```
IF (ira)
THEN (crup espasmódico, 0.60)           or
      (neumonía, 0.60)                  or
      (bronquiolitis infecciosa aguda, 0.60).
```

El paquete de reglas *Cenfermedades* es el encargado de identificar qué elementos solución podrían ser generados en el nivel EN, una vez que ha sido creado un nuevo elemento solución en el nivel EEFP.

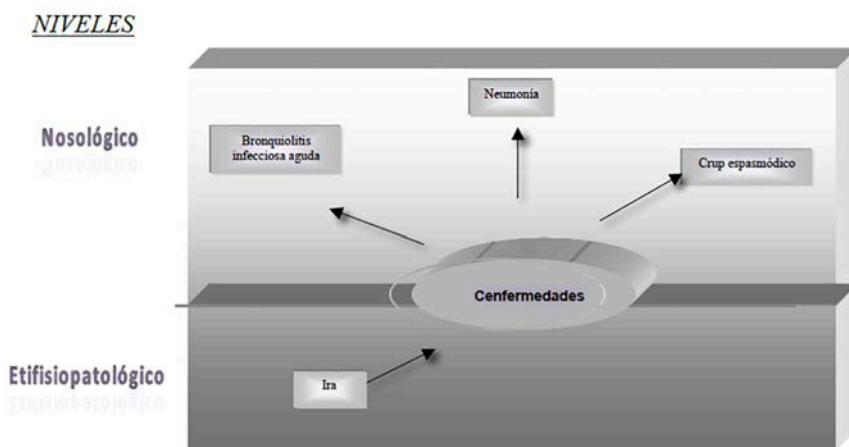
Ante la presencia de una nueva entidad etiofisiopatológica en el nivel EEFP, *Cenfermedades* aplica su conocimiento para identificar las posibles enfermedades que pudieran ser la causa de la manifestación sintomatológica expresada en el nivel SSGG.

Cuando un nuevo elemento solución ha sido creado en el nivel EEFP, *Cenfermedades* se dispara ejecutando las siguientes acciones:

- Inscribe en el bloque de registro de los comportamientos, los registros de activación correspondientes a los elementos solución que intenta crear.
- Cuando el mecanismo de control selecciona para su ejecución alguno de los registros de activación creados por *Cenfermedades*, éste ejecuta su acción final, la creación de un registro sobre la base de datos de control, el cual corresponde a elementos solución con poca certidumbre que deben ser generados en el nivel EN del pizarrón del dominio.

La figura 13 muestra la actividad final llevada a cabo por **Cenfermedades** en el nivel EN, al satisfacer alguna de sus condiciones sobre el nivel EEFP.

Figura 13
Ejemplo que muestra la actividad del paquete de reglas **Cenfermedades** en el dominio de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda



Fuente: Elaboración propia.

Con el paquete de reglas **Cnoso**logía se aplican *las reglas para inferir las entidades nosológicas* con el máximo valor de certidumbre, aplicadas al dominio del problema, y que son:

IF (ira)	and
(fiebre=mayor a 39)	and
(fiebre=continua)	and
(fiebre=de 2 a 3 días)	and
(tos=seca)	and
(tos=por accesos)	and
(dificultad respiratoria=grave)	and
(odinofagia=de 2 a 3 días)	and
(odinofagia=garganta roja)	and
(apnea=periodos largos)	and
(ardor de garganta=intenso)	and
(biometría hemática=leucocitosis)	

```

THEN (bronquiolitis infecciosa aguda,1.0).
IF (ira) and
  (fiebre=mayor a 39) and
  (tos=seca) and
  (tos=por accesos) and
  (dificultad respiratoria=grave) and
  (odinofagia=de 2 a 3 días) and
  (apnea=periodos largos) and
  (ardor de garganta=intenso) and
  (biometría hemática=leucocitosis)
THEN (bronquiolitis infecciosa aguda,0.90).

IF (ira) and
  (fiebre=continua) and
  (fiebre=de 2 a 3 días) and
  (tos=por accesos) and
  (dificultad respiratoria=grave) and
  (odinofagia=garganta roja) and
  (apnea=periodos largos) and
  (ardor de garganta=intenso)
THEN (bronquiolitis infecciosa aguda,0.80).

IF (ira) and
  (fiebre=mayor a 39) and
  (fiebre=continua) and
  (fiebre=de 2 a 3 días) and
  (tos=seca) and
  (tos=por accesos) and
  (dificultad respiratoria=leve a moderada) and
  (odinofagia=de 2 a 3 días) and
  (odinofagia=garganta roja) and
  (ardor de garganta=intenso) and
  (estridor=laringeo) and
  (rinorrea=transparente) and
  (resultados de laboratorio=biometría hemática
  eusinofilia)
THEN (crup espasmódico,1.0).

IF (ira) and
  (fiebre=continua) and
  (tos=por accesos) and
  (dificultad respiratoria=leve a moderada) and
  (ardor de garganta=intenso) and
  (estridor=laringeo) and
  (resultados de laboratorio=biometría hemática
  eusinofilia)
THEN (crup espasmódico,0.90).

```

IF (ira)	and
(fiebre=mayor a 39)	and
(tos=por accesos)	and
(dificultad respiratoria=leve a moderada)	and
(odinofagia=de 2 a 3 días)	and
(ardor de garganta=intenso)	and
(estridor=laringeo)	
THEN (crup espasmódico,0.80).	

IF (ira)	and
(fiebre=mayor a 39)	and
(fiebre=continua)	and
(fiebre=de 2 a 3 días)	and
(tos=con flema)	and
(tos=frecuente)	and
(dificultad respiratoria=grave)	or
(dificultad respiratoria=polipnea)	or
(dificultad respiratoria=tiraje)	and
(hipoventilación=crepitante pulmonar)	and
(resultados de laboratorio = exudado faríngeo estreptococo neumonice)	or
(resultados de laboratorio=exudado faríngeo hemofilus neumonice)	or
(resultados de laboratorio=exudado faríngeo esquerchia coli)	
THEN (neumonía,1.0)	

IF (ira)	and
(fiebre=continua)	and
(dificultad respiratoria=grave)	or
(dificultad respiratoria=polipnea)	or
(dificultad respiratoria=tiraje)	and
(hipoventilación=crepitante pulmonar)	and
(resultados de laboratorio = exudado faríngeo estreptococo neumonice)	or
(resultados de laboratorio=exudado faríngeo hemofilus neumonice)	or
(resultados de laboratorio=exudado faríngeo esquerchia coli)	
THEN (neumonía,0.90)	

IF (ira)	and
(fiebre=mayor a 39)	and
(tos=con flema)	and
(tos=frecuente)	and
(dificultad respiratoria=grave)	or
(dificultad respiratoria=polipnea)	or

```

(dificultad respiratoria=tiraje)                                and
(hipoventilación=crepitante pulmonar)
THEN (neumonía,0.85) .

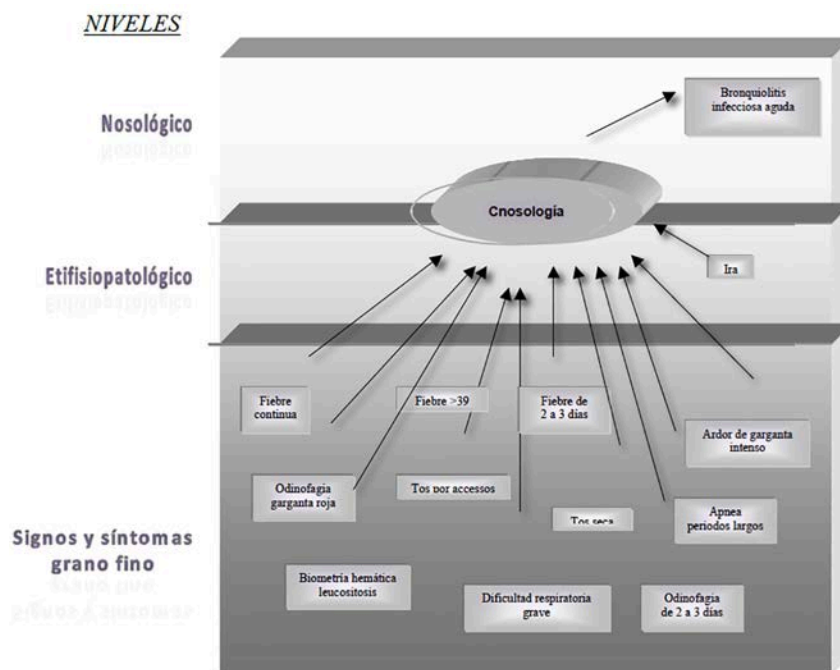
```

Cuando elementos solución con poca certidumbre han sido creados en el nivel EN, **Cnosología** se dispara ejecutando las siguientes acciones:

- Para cada nuevo hecho, inscribe un registro de activación en el bloque de registros de los comportamientos.
- Cuando el mecanismo de control selecciona para su ejecución los registros creados por **Cnosología**, éste ejecuta su acción final, la cual consiste en crear en el nivel EN del pizarrón del dominio el elemento solución, con máxima certidumbre, asociado a dichos registros.

La figura 14 muestra la acción final en el nivel EN que ejecuta **Cnosología** una vez que ha logrado satisfacer alguna de sus condiciones sobre los niveles EEPF y SSGF.

Figura 14
Ejemplo que muestra la actividad del paquete de reglas
Cnosología en el dominio de la enfermedad bronquiolitis
infecciosa aguda



Fuente: Elaboración propia.

◇ Inferencia de entidades terapéuticas:

Paquete de reglas *Cterapia*

Para inferir la terapia adecuada se aplica la siguiente regla, ejecutándose *Cterapia*:

IF (bronquiolitis infecciosa aguda)

THEN (antitérmicos, broncodilatadores, oxigenoterapia y nebulizaciones, 1.0).

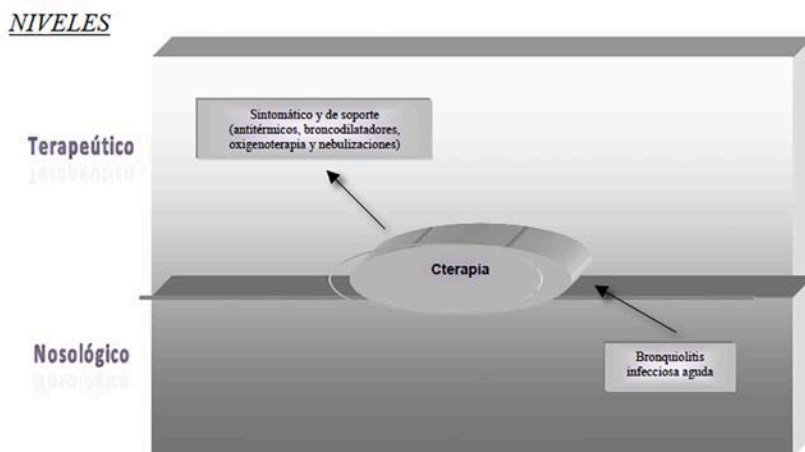
La función del paquete de reglas **Cterapia** consiste en proponer los planes terapéuticos más apropiados para metas o entidades nosológicas confirmadas en el proceso del diagnóstico diferencial. Cuando se ha arribado al diagnóstico de una determinada entidad nosológica, **Cterapia** identifica el conjunto de las medidas terapéuticas posibles para dicha enfermedad y posteriormente, se determina entre todas estas medidas terapéuticas posibles, cuál resulta ser la más factible para el paciente en análisis.

Cuando un nuevo elemento solución ha sido creado en el nivel EN, **Cterapia** se dispara ejecutando las siguientes acciones:

- Inscribe en el bloque de RACRFS los registros de activación correspondientes a los elementos solución que ésta intenta crear.
- Cuando un registro creado por **Cterapia** es seleccionado por el mecanismo de control para su ejecución, la fuente de conocimiento ejecuta su acción final, la cual consiste en la creación de un registro sobre la base de datos de control, el cual corresponde al elemento solución que debe ser generado en el nivel ET del pizarrón del dominio.

La figura 15 muestra la actividad final llevada a cabo por **Cterapia** en el nivel ET al satisfacer alguna de sus condiciones sobre el nivel EN.

Figura 15
Actividad del paquete de reglas Cterapia en el dominio
de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda

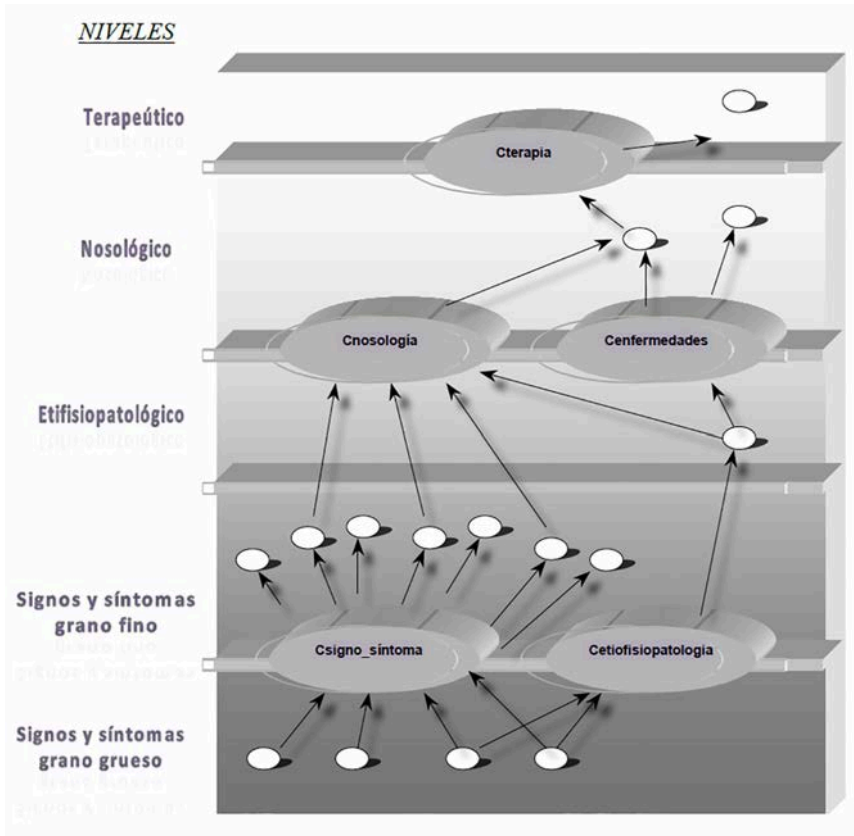


Fuente: Elaboración propia.

La figura 16 resume toda la actividad del conjunto del paquete de reglas que forman parte del razonamiento *forward*, mostrando las actividades inicial y final llevadas a cabo por los paquetes de reglas en todos los niveles del pizarrón, al satisfacer alguna de sus condiciones sobre los niveles correspondientes.

Figura 16

Ejemplo que muestra la actividad del conjunto del paquete de reglas que forman parte del razonamiento *forward*



Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento del razonamiento diferencial

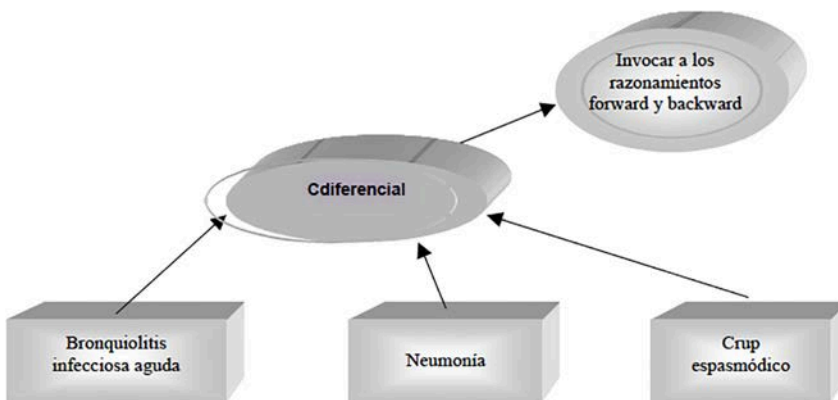
Las fuentes de conocimiento diferencial o comportamientos de razonamiento diferencial, poseen conocimiento específico acerca del dominio del sistema (enfermedades infecciosas infantiles), y su función consiste en discriminar entre todas las entidades nosológicas creadas en el nivel nosológico del pizarrón, relacionadas entre sí, y con una certidumbre menor o igual a un va-

lor umbral previamente establecido, cuál de ellas es la más plausible a partir del reforzamiento de su nivel de certidumbre.

Los comportamientos diferenciales empaquetan reglas fundamentales para inferir las entidades nosológicas. Por ello se define el paquete de reglas **Cdiferencial**.

Para hacer más transparente el funcionamiento del comportamiento diferencial y la aplicación de su correspondiente paquete de reglas en el sistema experto multirrazonamiento para tareas de diagnóstico, dentro del dominio del problema (diagnóstico médico: enfermedades infecciosas infantiles), se muestra, en la figura 17, la actividad final llevada a cabo por **Cdiferencial**.

Figura 17
Ejemplo que muestra la actividad del paquete de reglas **Cdiferencial** en el dominio de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda



Fuente: Elaboración propia.

La regla aplicada al dominio del problema es:

```

IF (Bronquiolititis infecciosa aguda, CERT_Bronquiolititis)and
    CERT_Bronquiolititis <= 0.60                                and
    (Neumonía, CERT_Neumonía)                                  and
    CERT_Neumonía <= 0.60                                      and
    (Crup espasmódico, CERT_Crup)                              and
    CERT_Crup <= 0.60
THEN Investigar (Bronquiolititis infecciosa aguda)            and
    Investigar (Neumonía)                                       and
    Investigar (Crup espasmódico).

```

El hecho Investigar () que aparece en la conclusión de la regla, consiste en la invocación de los razonamientos por encadenamiento de reglas hacia atrás y hacia adelante de forma cooperativa para aportar elementos solución en los diferentes niveles del pizarrón, que permitan reforzar el nivel de certidumbre de algunas de las entidades nosológicas.

◊ Reglas usadas por los comportamientos para refinar los signos y síntomas, y para inferir las entidades etiofisiopatológicas, nosológicas y terapéuticas del dominio de las enfermedades infecciosas infantiles

Las reglas para refinar los signos y síntomas son las siguientes:

```

IF (fiebre)
THEN (fiebre=mayor a 39,1.0)                                     or
    (fiebre=continua,1.0)                                       or
    (fiebre=1 a 2 días,1.0)                                     or
    (fiebre=2 a 3 días,1.0)                                     or
    (fiebre=3 a 5 días,1.0)                                     or
    (fiebre=en picos,1.0)                                       or
    (fiebre=vespertina,1.0)                                     or
    (fiebre=mayor a 39,1.0)                                     or
    (fiebre=mayor a 38,1.0)                                     or
    (fiebre=mayor a 37,1.0)                                     or
    (fiebre=de 38 a 39,1.0)                                     or
    (fiebre=de 38 a 39.5,1.0).

```

IF (tos)

THEN (tos=seca,1.0)	or
(tos=por accesos,1.0)	or
(tos=con flema,1.0)	or
(tos=frecuente,1.0).	

IF (dificultad respiratoria)

THEN (dificultad respiratoria=leve a moderada,1.0)	or
(dificultad respiratoria=grave,1.0)	or
(dificultad respiratoria=polipnea,1.0)	or
(dificultad respiratoria=tiraje,1.0).	

IF (odinofagia)

THEN (odinofagia=2 a 3 días,1.0)	or
(odinofagia=garganta roja,1.0).	

IF (rinorrea)

THEN (rinorrea transparente,1.0).

IF (estridor)

THEN (estridor=laríngeo,1.0).

IF (apnea)

THEN (apnea=periodos largos,1.0).

IF (hipoventilación)

THEN (hipoventilación=crepitante pulmonar,1.0).

IF (crecimiento de parótidas)

THEN (crecimiento de parótidas,1.0).

IF (exantema)

THEN (exantema=máculas,1.0)	or
(exantema=maculopapuloso,1.0)	or
(exantema=vesículas,1.0)	or
(exantema=no confluyente,1.0)	or
(exantema=confluyente,1.0)	or
(exantema=inicia en cara,1.0)	or
(exantema=inicia en tronco,1.0)	or
(exantema=inicia en cuero cabelludo,1.0)	or
(exantema=inicia en palmas y plantas,1.0)	or
(exantema=inicia en abdomen y pecho,1.0)	or
(exantema=petequias,1.0)	or
(exantema=dispersas,1.0)	or
(exantema=eritematoso,1.0)	or
(exantema=costras,1.0)	or
(exantema=puede producir escamas,1.0)	or
(exantema=piel de lija,1.0)	or

```

(exantema=escamas,1.0)                                or
(exantema=rosa,1.0)                                    or
(exantema=rosa pálido,1.0)                             or
(exantema=rojo,1.0)                                     or
(exantema=evanecente,1.0).

IF (adenopatías)
THEN (adenopatías=retroauricular,1.0)                  or
     (adenopatías=dolorosas,1.0)                       or
     (adenopatías=todos los ganglios,1.0).

IF (linfadenopatías)
THEN (linfadenopatías=todos los ganglios,1.0).

IF (conjuntivitis)
THEN (conjuntivitis=intensa,1.0)                       or
     (conjuntivitis=moderada,1.0).

IF (coriza)
THEN (coriza=moderada,1.0).

IF (enantema)
THEN (enantema=placas de Koplick,1.0).

IF (vómito)
THEN (vómito= intenso,1.09).

IF (dolor a masticación)
THEN (dolor a masticación=acompañado con
     borramiento del ángulo madibular,1.0)             or
     (dolor a masticación=espontáneo aguda,1.0).

IF (crecimiento de parótidas)
THEN (crecimiento de parótidas,1.0).

IF (inflamación del tímpano)
THEN (inflamación del tímpano=2 a 3 días,1.0)         or
     (inflamción del tímpano=rojo,1.0).

IF (otorrea)
THEN (otorrea=abundante,1.0)                           or
     (otorrea=escasa,1.0)                               or
     (otorrea=puro lenta,1.0)                           or
     (otorrea=transparente,1.0)                         or
     (otorrea=fétida,1.0)                               or
     (otorrea=sin olor,1.0)                             or
     (otorrea=no existe,1.0).

```

IF (estridor)

THEN (estridor=laríngeo,1.0).

IF (resultados de laboratorio)

THEN (resultados de laboratorio=biometría

hemática positiva,1.0) or

(resultados de laboratorio=biometría

hemática leucopenia,1.0) or

(resultados de laboratorio=biometría

hemática linfocitosis,1.0) or

(resultados de laboratorio=biometría

hemática leucocitosis,1.0) or

(resultados de laboratorio=biometría

hemática neutrofilia,1.0) or

(resultados de laboratorio=biometría

hemática neutropeña,1.0) or

(resultados de laboratorio=biometría

hemática eusinofilia,1.0) or

(resultados de laboratorio=exudado faríngeo

estreptococo neumonice,1.0) or

(resultados de laboratorio= exudado faríngeo

hemofilus influenza,1.0) or

(resultados de laboratorio= exudado faríngeo

esqueriquia coli,1.0) or

(resultados de laboratorio= exudado de oído

estreptococo hemolítico,1.0).

IF (ardor de garganta)

THEN (ardor de garganta=intenso,1.0).

IF (cefalea)

Then (cefalea=constante,1.0) or

(cefalea=dolor retrocular,1.0).

IF (trastornos digestivos)

THEN (trastornos digestivos=diarrea,1.0) or

(trastornos digestivos=estreñimiento,1.0).

IF (dolor de parótidas)

THEN (dolor de parótidas,1.0).

IF (otalgia)

THEN (otalgia=intensa,1.0) or

(otalgia=continua,1.0).

IF (hipoacusia)

THEN (hipoacusia=2 a 3 días,1.0).

Las reglas para inferir las entidades etiofisiopatológicas son las siguientes:

IF fiebre	and
exantema	
THEN (enfermedad exantemática,0.60)	
IF fiebre	and
dolor a la masticación	and
dolor de parótidas	and
crecimiento de parótidas	
THEN (parotiditis,0.60)	
IF fiebre	and
tos	and
dificultad respiratoria	
THEN (ira,0.60)	
IF fiebre	and
otalgia	and
inflamación del tímpano	and
otorrea	and
malestar general	and
hipoacusia	
THEN (otitis,0.60)	

Las reglas para inferir las entidades nosológicas son:

IF enfermedad extantemática

THEN (rubéola,0.60)	or
(sarampión,0.60)	or
(roséola,0.60)	or
(escarlatina,0.60)	or
(varicela,0.60)	or
(dengue,0.60)	or
(tifoidea,0.60).	

IF parotiditis

THEN (parotiditis viral,0.60)	or
(parotidis bacteriana,0.60).	

IF ira

THEN (crup espasmódico,0.60)	or
(bronquiolitis infecciosa aguda,0.60)	or
(neumonía,0.60).	

IF otitis

THEN (otitis viral,0.60)	or
(otitis bacteriana,0.60)	

IF enfermedad exantemática

exantema=maculopapuloso	and
exantema=no confluyente	and
exantema=inicia en cara	and
exantema=rosa pálido	and
fiebre=continua	and
fiebre=de 1 a 2 días	and
adenopatías=retroauricular	and
adenopatías=dolorosas	and
resultados de laboratorio=biometría	
hemática leucopenia	
THEN (rubéola, 1.0)	

IF enfermedad exantemática

exantema=maculopapuloso	and
exantema=no confluyente	and
fiebre=continua	and
adenopatías=retroauricular	
THEN (rubéola, 0.80)	

IF enfermedad exantemática

exantema=maculopapuloso	and
exantema=no confluyente	and

exantema=rosa pálido	and
adenopatías=retroauricular	and
resultados de laboratorio=biometría	
hemática leucopenia	
THEN (rubéola, 0.90)	
IF enfermedad exantemática	and
exantema=maculopapuloso	and
exantema=confluyente	and
exantema=inicia en cara	and
exantema=eritematoso	and
exantema=puede producir escamas	and
fiebre=continua	and
fiebre=de 2 a 3 días	and
conjuntivitis=intensa	and
enatema=placas de Koplick	and
resultados de laboratorio=biometría	
hemática leucopenia	and
resultados de laboratorio=biometría	
hemática linfocitosis	
THEN (sarampión, 1.0)	
IF enfermedad exantemática	and
exantema=maculopapuloso	and
exantema=eritematoso	and
fiebre=continua	and
conjuntivitis=intensa	
THEN (sarampión, 0.80)	
IF enfermedad exantemática	and
exantema=maculopapuloso	and
exantema=eritematoso	and
exantema=puede producir escamas	and
enatema=placas de Koplick	and
resultados de laboratorio=biometría	
hemática leucopenia	and
resultados de laboratorio=biometría	
hemática linfocitosis	
THEN (sarampión, 0.85)	
IF enfermedad exantemática	and
exantema=evanescente	and
exantema=inicia en tronco	and
exantema=rosa	and
fiebre=continua	and
fiebre=de 1 a 2 días	and
resultados de laboratorio=biometría	
hemática leucopenia	and

```
    resultados de laboratorio=biometría
    hemática linfocitosis
THEN (roséola, 1.0)

IF enfermedad exantemática                                and
    exantema=evanecente                                    and
    exantema=rosa                                          and
    fiebre=continua
THEN (roséola, 0.75)

IF enfermedad exantemática                                and
    exantema=evanecente                                    and
    exantema=inicia en tronco                             and
    fiebre=de 1 a 2 días                                  and
    resultados de laboratorio=biometría
    hemática leucopenia                                    and
    resultados de laboratorio=biometría
    hemática linfocitosis
THEN (roséola, 0.85)

IF enfermedad exantemática                                and
    exantema=rojo                                          and
    exantema=piel de lija                                  and
    exantema=escamas                                       and
    exantema=rosa pálido                                   and
    fiebre=continua                                        and
    fiebre=de 3 a 5 días                                    and
    ademopatías=todos los ganglios                         and
    resultados de laboratorio=biometría
    hemática linfocitosis                                  and
    resultados de laboratorio=biometría
    hemática leucocitosis
THEN (escarlatina, 1.0)

IF enfermedad exantemática                                and
    exantema=rojo                                          and
    exantema=piel de lija                                  and
    fiebre=continua                                        and
    ademopatías=todos los ganglios
THEN (escarlatina, 0.80)

IF enfermedad exantemática                                and
    exantema=rojo                                          and
    exantema=piel de lija                                  and
    exantema=escamas                                       and
    resultados de laboratorio=biometría
    hemática linfocitosis                                  and
```

```

    resultados de laboratorio=biometría
    hemática leucocitosis
    THEN (escarlatina, 1.0)

    IF enfermedad exantemática                                and
    exantema=máculas                                           and
    exantema=vesículas                                         and
    exantema=costras                                           and
    exantema=inica en cuero cabelludo                          and
    exantema=dispersas                                         and
    fiebre=en picos                                            and
    fiebre=vespertina                                          and
    fiebre=de 2 a 3 días                                       and
    resultados de laboratorio=biometría
    hemática leucocitosis                                     and
    resultados de laboratorio=biometría
    hemática neutrofilia
    THEN (varicela, 1.0)

    IF enfermedad exantemática                                and
    exantema=vesículas                                         and
    exantema=costras                                           and
    exantema=dispersas                                         and
    fiebre=en picos
    THEN (varicela, 0.85)

    IF enfermedad exantemática                                and
    exantema=vesículas                                         and
    exantema=inica en cuero cabelludo                          and
    fiebre=vespertina                                          and
    resultados de laboratorio=biometría
    hemática leucocitosis                                     and
    resultados de laboratorio=biometría
    hemática neutrofilia
    THEN (varicela, 0.90)

    IF enfermedad exantemática                                and
    exantema=rosa                                              and
    exantema=maculopapuloso                                    and
    exantema=inicia en palmas y plantas                       and
    exantema=petequias                                         and
    fiebre=mayor a 38                                          and
    fiebre=continua                                           and
    conjuntivitis=moderada                                     and
    coriza=moderada                                            and
    resultados de laboratorio=biometría
    hemática leucocitosis
    THEN (dengue, 1.0)

```

IF enfermedad exantemática	and
exantema=maculopapuloso	and
exantema=inicia en palmas y plantas	and
exantema=petequias	and
fiebre=continua	
THEN (dengue, 0.80)	

IF enfermedad exantemática	and
exantema=maculopapuloso	and
exantema=inicia en palmas y plantas	and
conjuntivitis=moderada	and
coriza=moderada	and
resultados de laboratorio=biometría	
hemática leucocitosis	
THEN (dengue, 0.85)	

IF enfermedad exantemática	and
fiebre=vespertina	and
fiebre=en picos	and
fiebre=de 3 a 5 días	and
exantema=maculopapuloso	and
exantema=rosa	and
exantema=inicia en abdomen y pecho	and
linfadenopatías=en todos los ganglios	and
cefalea=constante	and
cefalea=dolor retrocular	and
vómito=intenso	and
trastornos digestivos=diarrea	or
trastornos digestivos=estreñimiento	and
resultados de laboratorio=biometría	
hemática leucopenia	and
resultados de laboratorio=biometría	
hemática neutropeña	
THEN (tifoidea, 1.0)	

IF enfermedad exantemática	and
fiebre=vespertina	and
exantema=maculopapuloso	and
exantema=inicia en abdomen y pecho	and
linfadenopatías=en todos los ganglios	and
vómito=intenso	and
trastornos digestivos=diarrea	
THEN (tifoidea, 0.80)	

IF enfermedad exantemática	and
fiebre=vespertina	and
exantema=maculopapuloso	and
cefalea=dolor retrocular	and

vómito=intenso	and
trastornos digestivos=estreñimiento	and
resultados de laboratorio=biometría	
hemática leucopenia	and
resultados de laboratorio=biometría	
hemática neutropeña	
THEN (tifoidea, 0.90)	
IF parotiditis	and
fiebre=continua	and
fiebre=mayor a 37	and
dolor de parótidas	and
crecimiento de parótidas	and
dolor a masticación espontáneo agudo	and
dolor a masticación acompañado con borramiento	
del ángulo mandibular	and
resultados de laboratorio=biometría	
hemática positiva	
THEN (paperas, 1.0)	
IF parotiditis	and
fiebre=continua	and
fiebre=mayor a 37	and
dolor a masticación espontáneo agudo	
THEN (paperas, 0.80)	
IF parotiditis	and
fiebre=mayor a 37	and
dolor de parótidas	and
crecimiento de parótidas	and
dolor a masticación acompañado con borramiento	
del ángulo mandibular	and
resultados de laboratorio=biometría	
hemática positiva	
THEN (paperas, 0.90)	
IF parotiditis	and
fiebre=continua	and
fiebre=mayor a 37	and
dolor de parótidas	and
crecimiento de parótidas	and
dolor a la masticación espontáneo agudo	and
dolor a la masticación acompañado con borramiento	
del ángulo mandibular	and
odinofagia=2 a 3 días	and
ardor de garganta=intenso	and
resultados de laboratorio=biometría	
hemática leucocitosis	
THEN (parotiditis bacteriana, 1.0)	

IF parotiditis and
fiebre=continua and
fiebre=mayor a 37 and
dolor a la masticación espontáneo agudo
THEN (parotiditis bacteriana, 0.80)

IF parotiditis and
fiebre=mayor a 37 and
dolor de parótidas and
crecimiento de parótidas and
dolor a la masticación acompañado con borramiento
del ángulo mandibular and
resultados de laboratorio=biometría
hemática leucocitosis
THEN (parotiditis bacteriana, 0.90)

IF ira and
fiebre=mayor a 39 and
fiebre=continua and
fiebre=de 2 a 3 días and
rinorrea=transparente and
tos=seca and
tos=por accesos and
dificultad respiratoria=leve a moderada and
estridor=laríngeo and
ardor de garganta intenso and
odinofagia=de 2 a 3 días and
odinofagia=garganta roja and
resultados de laboratorio=biometría
hemática eusinofilia
THEN (crup espasmódico, 1.0)

IF ira and
fiebre=mayor a 39 and
tos=por accesos and
dificultad respiratoria=leve a moderada and
estridor=laríngeo and
ardor de garganta intenso and
odinofagia=de 2 a 3 días
THEN (crup espasmódico, 0.80)

IF ira and
fiebre=continua and
tos=por accesos and
dificultad respiratoria=leve a moderada and
estridor=laríngeo and
resultados de laboratorio=biometría
hemática eusinofilia
THEN (crup espasmódico, 0.90)

IF ira	and	
fiebre=mayor a 39	and	
fiebre=continua	and	
fiebre=de 2 a 3 días	and	
tos=seca	and	
tos=por accesos	and	
dificultad respiratoria=grave	and	
odinofagia=de 2 a 3 días	and	
odinofagia=garganta roja	and	
apnea=periodos largos	and	
ardor de garganta=intenso	and	
resultados de laboratorio=biometría		
hemática leucocitosis		
THEN (bronquiolitis infecciosa aguda, 1.0)		
IF ira	and	
fiebre=continua	and	
fiebre=de 2 a 3 días	and	
tos=por accesos	and	
dificultad respiratoria=grave	and	
odinofagia=garganta roja	and	
apnea=periodos largos	and	
ardor de garganta=intenso		
THEN (bronquiolitis infecciosa aguda, 0.80)		
IF ira	and	
fiebre=mayor a 39	and	
tos=seca	and	
tos=por accesos	and	
dificultad respiratoria=grave	and	
odinofagia=de 2 a 3 días	and	
apnea=periodos largos	and	
ardor de garganta=intenso	and	
resultados de laboratorio=biometría		
hemática leucocitosis		
THEN (bronquiolitis infecciosa aguda, 0.90)		
IF ira	and	
fiebre=mayor a 39	and	
fiebre=continua	and	
fiebre=de 2 a 3 días	and	
tos=con flema	and	
tos=frecuente	and	
dificultad respiratoria=grave		or
dificultad respiratoria=polipnea		or
dificultad respiratoria=tiraje		and
hipoventilación=crepitante pulmonar		and
resultados de laboratorio=exudado faríngeo		

estreptococo neumonice	or
resultados de laboratorio=exudado faríngeo	
hemofilus influenza	or
resultados de laboratorio=exudado faríngeo	
esquerichia coli	
THEN (neumonía, 1.0)	
 IF ira	and
fiebre=mayor a 39	and
tos=con flema	and
tos=fecuyente	and
dificultad respiratoria=grave	or
dificultad respiratoria=polipnea	or
dificultad respiratoria=tiraje	and
hipoventilación=crepitante pulmonar	
THEN (neumonía, 0.85)	
 IF ira	and
fiebre=continua	and
dificultad respiratoria=grave	or
dificultad respiratoria=polipnea	or
dificultad respiratoria=tiraje	and
hipoventilación=crepitante pulmonar	and
resultados de laboratorio=exudado faríngeo	
estreptococo neumonice	or
resultados de laboratorio=exudado faríngeo	
hemofilus influenza	or
resultados de laboratorio=exudado faríngeo	
esquerichia coli	
THEN (neumonía, 0.90)	
 IF otitis	and
otalgia=intensa	and
otalgia=continua	and
inflamación del tímpano=de 2 a 3 días	and
inflamación del tímpano=rojo	and
otorrea=escasa	or
otorrea=no existe	and
otorrea=transparente	and
otorrea=sin olor	and
fiebre=discontinua	and
fiebre=de 38 a 39.5	and
hipoacusia=de 2 a 3 días	and
resultados de laboratorio=biometría	
hemática eusinofilia	
THEN (otitis viral, 1.0)	

IF otitis	and
otalgia=intensa	and
inflamación del tímpano=rojo	and
otorrea=escasa	and
otorrea=transparente	and
otorrea=sin olor	and
fiebre=discontinua	and
hipoacusia=de 2 a 3 días	
THEN (otitis viral, 0.85)	
IF otitis	and
otalgia=continua	and
inflamación del tímpano=de 2 a 3 días	and
otorrea=transparente	and
otorrea=sin olor	and
hipoacusia=de 2 a 3 días	and
resultados de laboratorio=biometría	
hemática eusinofilia	
THEN (otitis viral, 0.90)	
IF otitis	and
otalgia=intensa	and
otalgia=continua	and
inflamación del tímpano=de 2 a 3 días	and
inflamación del tímpano=rojo	and
otorrea=abundante	or
otorrea=escasa	and
otorrea=purolenta	and
otorrea=fétida	and
fiebre=discontinua	and
fiebre=de 38 a 39	and
hipoacusia=de 2 a 3 días	and
resultados de laboratorio=exudado de oído	
estreptococo hemolítico	
THEN (otitis bacteriana, 1.0)	
IF otitis	and
otalgia=continua	and
inflamación del tímpano=de 2 a 3 días	and
otorrea=abundante	and
otorrea=purolenta	and
otorrea=fétida	and
hipoacusia=de 2 a 3 días	
THEN (otitis bacteriana, 0.85)	
IF otitis	and
otalgia=intensa	and
inflamación del tímpano=rojo	and

otorrea=escasa	and
otorrea=purolenta	and
otorrea=fétida	and
hipoacusia=de 2 a 3 días	and
resultados de laboratorio=exudado de oído	
estreptococo hemolítico	
THEN (otitis bacteriana, 0.90)	

Las reglas para inferir la terapia adecuada son:

IF rubéola

THEN (sintomático y de soporte (antitérmicos),1.0).

IF sarampión

THEN (sintomático y de soporte (antitérmicos),1.0).

IF roséola

THEN (sintomático y de soporte (antitérmicos),1.0).

IF escarlatina

THEN (sintomático y de soporte (antitérmicos y
antibióticos: penicilina y eritromicina),1.0).

IF varicela

THEN (sintomático y de soporte (antitérmicos),1.0).

IF dengue

THEN (sintomático y de soporte (antitérmicos (excepto
aspirina) e hidratación),1.0).

IF tifoidea

THEN (sintomático y de soporte (antitérmicos, hidratación
y antibióticos (ampicilina, clorafenicol, trimatropima-
sulfametaxazol, cefuroxona)),1.0).

IF paperas

THEN (sintomático y de soporte (antitérmicos e
hidratación),1.0).

IF parotiditis bacteriana

THEN (sintomático y de soporte (antitérmicos, hidratación
y antibióticos),1.0).

IF crup espasmódico

THEN (sintomático y de soporte (antitérmicos,
humidificación, aire frío, sedación y tranquilizar al
paciente),1.0).

IF bronquiolitis infecciosa aguda

THEN (sintomático y de soporte (antitérmicos,
broncodilatadores, oxigenoterapia y nebulizaciones),1.0).

IF neumonía

THEN (sintomático y de soporte (antitérmicos,
antitusígenos, hidratación y antibióticos (penicilina G,
eritromicina, amoxicilina)),1.0).

IF otitis viral

THEN (sintomático y de soporte (antitérmicos),1.0).

IF otitis bacteriana

THEN (sintomático y de soporte (antitérmicos),1.0).

Análisis de la creación de los elementos de los niveles del pizarrón de tres enfermedades seleccionadas en el dominio de las enfermedades infecciosas infantiles

A manera de ilustrar cómo se podrían crear los elementos de los niveles del pizarrón del sistema experto multirrazonamiento, y dado que éste es un sistema que representa el conocimiento con reglas de producción, utilizando hechos y reglas, en este ejercicio se mencionan como tal, analizando tres casos particulares de las enfermedades infecciosas infantiles más comunes (la bronquiolitis infecciosa aguda, el crup espasmódico y la neumonía) y que comparten el mismo síndrome (la ira), con el fin de especificar con más detalle el funcionamiento de la arquitectura de pizarrón. Adicionalmente, esta selección se debe a que la bronquiolitis infecciosa aguda ha sido el ejemplo empleado a lo largo de este capítulo.

Caso I: Diagnóstico: bronquiolitis infecciosa aguda

1. Elementos del nivel ssgg.

-Se crean los hechos:

(fiebre)
(tos)
(dificultad respiratoria)
(odinofagia)
(ardor de garganta)
(apnea)
(resultados de laboratorio)

2. Elementos del nivel ssgf.

-Se dispara el paquete de reglas Csigno_síntoma, aplicándose las reglas:

IF (fiebre)

THEN (fiebre=mayor a 39,1.0)	or
(fiebre=continua,1.0)	or
(fiebre=1 a 2 días,1.0)	or
(fiebre=2 a 3 días,1.0)	or
(fiebre=3 a 5 días,1.0)	or

```

(fiebre=en picos,1.0) or
(fiebre=vespertina,1.0) or
(fiebre=mayor a 39,1.0) or
(fiebre=mayor a 38,1.0) or
(fiebre=mayor a 37,1.0) or
(fiebre=de 38 a 39,1.0) or
(fiebre=de 38 a 39.5,1.0).

IF (tos)
THEN (tos=seca,1.0) or
      (tos=por accesos,1.0) or
      (tos=con flema,1.0) or
      (tos=frecuente,1.0).

IF (dificultad respiratoria)
THEN (dificultad respiratoria=leve a moderada,1.0) or
      (dificultad respiratoria=grave,1.0) or
      (dificultad respiratoria=polipnea,1.0) or
      (dificultad respiratoria=tiraje,1.0).

IF (odinofagia)
THEN (odinofagia=2 a 3 días,1.0) or
      (odinofagia=garganta roja,1.0).

IF (apnea)
THEN (apnea=periodos largos,1.0).

IF (ardor de garganta)
THEN (ardor de garganta=intenso,1.0).

IF (resultados de laboratorio)
THEN (resultados de laboratorio=biometría hemática
      positiva,1.0) or
      (resultados de laboratorio=biometría hemática
      leucopenia,1.0) or
      (resultados de laboratorio=biometría hemática
      linfocitosis,1.0) or
      (resultados de laboratorio=biometría
      hemática leucocitosis,1.0) or
      (resultados de laboratorio=biometría
      hemática neutrofilia,1.0) or
      (resultados de laboratorio=biometría hemática
      neutropeña,1.0) or
      (resultados de laboratorio=biometría
      hemática eusinofilia,1.0) or
      (resultados de laboratorio=exudado faríngeo
      estreptococo neumonice,1.0) or

```

```
(resultados de laboratorio= exudado faríngeo
hemofilus influenza,1.0) or
(resultados de laboratorio= exudado faríngeo
esqueriquia coli,1.0) or
(resultados de laboratorio= exudado de oído
estreptococo hemolítico,1.0).
```

-Se crean los hechos:

```
(fiebre=mayor a 39)
(fiebre=continua)
(fiebre=2 a 3 días)
(tos=seca)
(tos=por accesos)
(dificultad respiratoria=grave)
(odinofagia=de 2 a 3 días)
(odinofagia=garganta roja)
(ardor de garganta=intenso)
(apnea=periodos largos)
(resultados de laboratorio=biometría
hemática leucocitosis)
```

3. Elementos del nivel EEFP.

-Se dispara el paquete de reglas Cetiofisiopatología, aplicándose la regla:

```
IF (fiebre) and
(tos) and
(dificultad respiratoria)
THEN (ira, 0.60).
```

-Se crea el hecho:

```
(ira)
```

4. Elementos del nivel EN.

-Se dispara el paquete de reglas Cenfermedades, aplicándose la regla:

```
IF (ira)
THEN (crup espasmódico,0.60) or
(neumonía,0.60) or
(bronquiolititis infecciosa aguda,0.60).
```

-Se crean los hechos con la misma certidumbre:

```
(crup espasmódico)
(neumonía)
(bronquiolitis infecciosa aguda)
```

-Se dispara el paquete de reglas **Cdiferencial** para estos tres hechos, aplicándose la regla:

```
IF (bronquiolitis infecciosa aguda, CERT_bronquiolitis)

and
    CERT_bronquiolitis <= 0.60 and
    (neumonía, CERT_neumonía) and
    CERT_neumonía <= 0.60 and
    (crup espasmódico, CERT_crup) and
    CERT_crup <= 0.60
THEN Investigar (bronquiolitis infecciosa aguda) and
    Investigar (neumonía) and
    Investigar (crup espasmódico).
```

-Se dispara el paquete de reglas **Cnología**, aplicándose las reglas:

```
IF (ira) and
    (fiebre=mayor a 39) and
    (fiebre=continua) and
    (fiebre=de 2 a 3 días) and
    (tos=seca) and
    (tos=por accesos) and
    (dificultad respiratoria=grave) and
    (odinofagia=de 2 a 3 días) and
    (odinofagia=garganta roja) and
    (apnea=periodos largos) and
    (ardor de garganta=intenso) and
    (biometría hemática=leucocitosis)
THEN (bronquiolitis infecciosa aguda,1.0).

IF (ira) and
    (fiebre=mayor a 39) and
    (tos=seca) and
    (tos=por accesos) and
    (dificultad respiratoria=grave) and
    (odinofagia=de 2 a 3 días) and
    (apnea=periodos largos) and
    (ardor de garganta=intenso) and
    (biometría hemática=leucocitosis)
THEN (bronquiolitis infecciosa aguda,0.90).
```

IF (ira)	and
(fiebre=continua)	and
(fiebre=de 2 a 3 días)	and
(tos=por accesos)	and
(dificultad respiratoria=grave)	and
(odinofagia=garganta roja)	and
(apnea=periodos largos)	and
(ardor de garganta=intenso)	
THEN (bronquiolitis infecciosa aguda,0.80).	

IF (ira)	and
(fiebre=mayor a 39)	and
(fiebre=continua)	and
(fiebre=de 2 a 3 días)	and
(tos=seca)	and
(tos=por accesos)	and
(dificultad respiratoria=leve a moderada)	and
(odinofagia=de 2 a 3 días)	and
(odinofagia=garganta roja)	and
(ardor de garganta=intenso)	and
(estridor=laringeo)	and
(rinorrea=transparente)	and
(resultados de laboratorio=biometría	
hemática eusinofilia)	
THEN (crup espasmódico,1.0).	

IF (ira)	and
(fiebre=continua)	and
(tos=por accesos)	and
(dificultad respiratoria=leve a moderada)	and
(ardor de garganta=intenso)	and
(estridor=laringeo)	and
(resultados de laboratorio=biometría	
hemática eusinofilia)	
THEN (crup espasmódico,0.90).	

IF (ira)	and
(fiebre=mayor a 39)	and
(tos=por accesos)	and
(dificultad respiratoria=leve a moderada)	and
(odinofagia=de 2 a 3 días)	and
(ardor de garganta=intenso)	and
(estridor=laringeo)	
THEN (crup espasmódico,0.80).	

IF (ira)	and
(fiebre=mayor a 39)	and
(fiebre=continua)	and

```

(fiebre=de 2 a 3 días) and
(tos=con flema) and
(tos=frecuente) and
(dificultad respiratoria=grave) or
(dificultad respiratoria=polipnea) or
(dificultad respiratoria=tiraje) and
(hipoventilación=crepitante pulmonar) and
(resultados de laboratorio=exudado
  faríngeo estreptococo neumonice) or
(resultados de laboratorio=exudado
  faríngeo hemofilus neumonice) or
(resultados de laboratorio=exudado
  faríngeo escherchia coli)
THEN (neumonía,1.0)

IF (ira) and
(fiebre=continua) and
(dificultad respiratoria=grave) or
(dificultad respiratoria=polipnea) or
(dificultad respiratoria=tiraje) and
(hipoventilación=crepitante pulmonar) and
(resultados de laboratorio = exudado
  faríngeo estreptococo neumonice) or
(resultados de laboratorio=exudado
  faríngeo hemofilus neumonice) or
(resultados de laboratorio=exudado
  faríngeo escherchia coli)
THEN (neumonía,0.90).

IF (ira) and
(fiebre=mayor a 39) and
(tos=con flema) and
(tos=frecuente) and
(dificultad respiratoria=grave) or
(dificultad respiratoria=polipnea) or
(dificultad respiratoria=tiraje) and
(hipoventilación=crepitante pulmonar)
THEN (neumonía,0.85).

```

-Se crean los hechos con la nueva certidumbre, la cual debe ser mayor en alguno de los casos:

(bronquiolitis infecciosa aguda)

(neumonía)

(crup espasmódico)

-Se crea el hecho con la máxima certidumbre, producto de aplicar el comportamiento *backward* para llegar a esa conclusión:

(bronquiolitis infecciosa aguda)

5. Elementos del nivel ET.

-Se dispara el paquete de reglas **Cterapia**, aplicándose la regla:

IF (bronquiolitis infecciosa aguda)

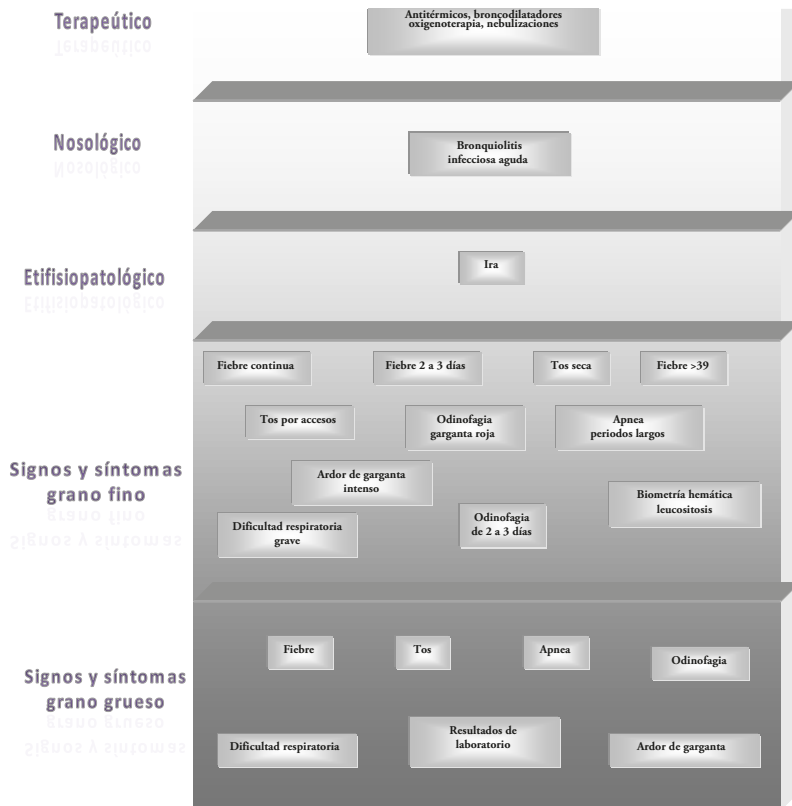
THEN (antitérmicos, broncodilatadores, oxigenoterapia y nebulizaciones,1.0).

-Se crea el hecho:

(antitérmicos, broncodilatadores, oxigenoterapia y nebulizaciones)

Los hechos de este caso son los elementos de los niveles del pizarrón en el dominio de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda, mismos que son mostrados en la figura 18.

Figura 18
Elementos de los niveles de abstracción del pizarrón en el dominio de la enfermedad bronquiolitis infecciosa aguda



Fuente: Elaboración propia.

Caso II: Diagnóstico: crup espasmódico

1. Elementos del nivel SSGG.

-Se crean los hechos:

- (fiebre)
- (tos)
- (dificultad respiratoria)
- (odinofagia)
- (ardor de garganta)

(estridor)
(rinorrea)
(resultados de laboratorio)

2. Elementos del nivel ssgr.

-Se dispara el paquete de reglas Csigno_síntoma, aplicándose las reglas:

IF (fiebre)

THEN (fiebre=mayor a 39,1.0)	or
(fiebre=continua,1.0)	or
(fiebre=1 a 2 días,1.0)	or
(fiebre=2 a 3 días,1.0)	or
(fiebre=3 a 5 días,1.0)	or
(fiebre=en picos,1.0)	or
(fiebre=vespertina,1.0)	or
(fiebre=mayor a 39,1.0)	or
(fiebre=mayor a 38,1.0)	or
(fiebre=mayor a 37,1.0)	or
(fiebre=de 38 a 39,1.0)	or
(fiebre=de 38 a 39.5,1.0).	

IF (tos)

THEN (tos=seca,1.0)	or
(tos=por accesos,1.0)	or
(tos=con flema,1.0)	or
(tos=frecuente,1.0).	

IF (dificultad respiratoria)

THEN (dificultad respiratoria=leve a moderada,1.0)	or
(dificultad respiratoria=grave,1.0)	or
(dificultad respiratoria=polipnea,1.0)	or
(dificultad respiratoria=tiraje,1.0).	

IF (odinofagia)

THEN (odinofagia=2 a 3 días,1.0)	or
(odinofagia=garganta roja,1.0).	

IF (ardor de garganta)

THEN (ardor de garganta=intenso,1.0).

IF (rinorrea)

THEN (rinorrea transparente,1.0).

IF (estridor)

THEN (estridor=laríngeo,1.0).

IF (resultados de laboratorio)

THEN (resultados de laboratorio=biometría

hemática positiva,1.0)	or
(resultados de laboratorio=biometría	
hemática leucopenia,1.0)	or
(resultados de laboratorio=biometría	
hemática linfocitosis,1.0)	or
(resultados de laboratorio=biometría	
hemática leucocitosis,1.0)	or
(resultados de laboratorio=biometría	
hemática neutrofilia,1.0)	or
(resultados de laboratorio=biometría	
hemática neutropeña,1.0)	or
(resultados de laboratorio=biometría	
hemática eusinofilia,1.0)	or
(resultados de laboratorio=exudado	
faríngeo estreptococo neumonice,1.0)	or
(resultados de laboratorio= exudado	
faríngeo hemofilus influenza,1.0)	or
(resultados de laboratorio= exudado	
faríngeo esqueriquia coli,1.0)	or
(resultados de laboratorio= exudado de oído	
estreptococo hemolítico,1.0).	

-Se crean los hechos:

```

(fiebre=mayor a 39)
(fiebre=continua)
(fiebre=2 a 3 días)
(tos=seca)
(tos=por accesos)
(dificultad respiratoria=leve a moderada)
(odinofagia=de 2 a 3 días)
(odinofagia=garganta roja)
(ardor de garganta=intenso)
(estridor=laringeo)
(rinorrea=transparente)
(resultados de laboratorio=biometría
hemática eusinofilia)
    
```

3. Elementos del nivel EEFP.

-Se dispara el paquete de reglas Cetiofisiopatología, aplicándose la regla:

```

IF (fiebre) and
(tos) and
(dificultad respiratoria)
THEN (ira,0.60).
    
```

-Se crea el hecho:

(ira)

4. Elementos del nivel EN.

-Se dispara el paquete de reglas **Cenfermedades**, aplicándose la regla:

IF (ira)

THEN (crup espasmódico,0.60)

or

(neumonía,0.60)

or

(bronquiolitis infecciosa aguda,0.60).

Se crean los hechos con la misma certidumbre:

(crup espasmódico)

(neumonía)

(bronquiolitis infecciosa aguda)

-Se dispara el paquete de reglas **Cdiferencial** para estos tres hechos, aplicándose la regla:

IF (bronquiolitis infecciosa aguda, CERT_bronquiolitis)

and

CERT_bronquiolitis <= 0.60

and

(neumonía, CERT_neumonía)

and

CERT_neumonía <= 0.60

and

(crup espasmódico, CERT_crup)

and

CERT_crup <= 0.60

THEN Investigar (bronquiolitis infecciosa aguda)

and

Investigar (neumonía)

and

Investigar (crup espasmódico).

-Se dispara el paquete de reglas **Cnosología**, aplicándose las reglas:

IF (ira)

and

(fiebre=mayor a 39)

and

(fiebre=continua)

and

(fiebre=de 2 a 3 días)

and

(tos=seca)

and

(tos=por accesos)

and

(dificultad respiratoria=grave)

and

(odinofagia=de 2 a 3 días)

and

(odinofagia=garganta roja)

and

(apnea=periodos largos)

and

(ardor de garganta=intenso)

and

(biometría hemática=leucocitosis)

THEN (bronquiolitis infecciosa aguda,1.0).

```

IF (ira) and
  (fiebre=mayor a 39) and
  (tos=seca) and
  (tos=por accesos) and
  (dificultad respiratoria=grave) and
  (odinofagia=de 2 a 3 días) and
  (apnea=periodos largos) and
  (ardor de garganta=intenso) and
  (biometría hemática=leucocitosis)
THEN (bronquiolitis infecciosa aguda,0.90).

```

```

IF (ira) and
  (fiebre=continua) and
  (fiebre=de 2 a 3 días) and
  (tos=por accesos) and
  (dificultad respiratoria=grave) and
  (odinofagia=garganta roja) and
  (apnea=periodos largos) and
  (ardor de garganta=intenso)
THEN (bronquiolitis infecciosa aguda,0.80).

```

```

IF (ira) and
  (fiebre=mayor a 39) and
  (fiebre=continua) and
  (fiebre=de 2 a 3 días) and
  (tos=seca) and
  (tos=por accesos) and
  (dificultad respiratoria=leve a moderada) and
  (odinofagia=de 2 a 3 días) and
  (odinofagia=garganta roja) and
  (ardor de garganta=intenso) and
  (estridor=laringeo) and
  (rinorrea=transparente) and
  (resultados de laboratorio=biometría
    hemática eusinofilia)
THEN (crup espasmódico,1.0).

```

```

IF (ira) and
  (fiebre=continua) and
  (tos=por accesos) and
  (dificultad respiratoria=leve a moderada) and
  (ardor de garganta=intenso) and
  (estridor=laringeo) and
  (resultados de laboratorio=biometría
    hemática eusinofilia)
THEN (crup espasmódico,0.90).

```

IF (ira)	and
(fiebre=mayor a 39)	and
(tos=por accesos)	and
(dificultad respiratoria=leve a moderada)	and
(odinofagia=de 2 a 3 días)	and
(ardor de garganta=intenso)	and
(estridor=laringeo)	
THEN (crup espasmódico,0.80).	

IF (ira)	and
(fiebre=mayor a 39)	and
(fiebre=continua)	and
(fiebre=de 2 a 3 días)	and
(tos=con flema)	and
(tos=frecuente)	and
(dificultad respiratoria=grave)	or
(dificultad respiratoria=polipnea)	or
(dificultad respiratoria=tiraje)	and
(hipoventilación=crepitante pulmonar)	and
(resultados de laboratorio=exudado faríngeo estreptococo neumonice)	or
(resultados de laboratorio=exudado faríngeo hemofilus neumonice)	or
(resultados de laboratorio=exudado faríngeo escherchia coli)	
THEN (neumonía,1.0)	

IF (ira)	and
(fiebre=continua)	and
(dificultad respiratoria=grave)	or
(dificultad respiratoria=polipnea)	or
(dificultad respiratoria=tiraje)	and
(hipoventilación=crepitante pulmonar)	and
(resultados de laboratorio = exudado faríngeo estreptococo neumonice)	or
(resultados de laboratorio=exudado faríngeo hemofilus neumonice)	or
(resultados de laboratorio=exudado faríngeo escherchia coli)	
THEN (neumonía,0.90)	

IF (ira)	and
(fiebre=mayor a 39)	and
(tos=con flema)	and
(tos=frecuente)	and
(dificultad respiratoria=grave)	or
(dificultad respiratoria=polipnea)	or
(dificultad respiratoria=tiraje)	and

```
(hipoventilación=crepitante pulmonar)
THEN (neumonía,0.85).
```

-Se crean los hechos con la nueva certidumbre, la cual debe ser mayor en alguno de los casos:
(bronquiolitis infecciosa aguda)
(neumonía)
(crup espasmódico)

-Se crea el hecho con la máxima certidumbre, producto de aplicar el comportamiento *backward* para llegar a esa conclusión:
(crup espasmódico)

5. Elementos del nivel ET.

-Se dispara el paquete de reglas Cterapia

-Se aplica la regla:

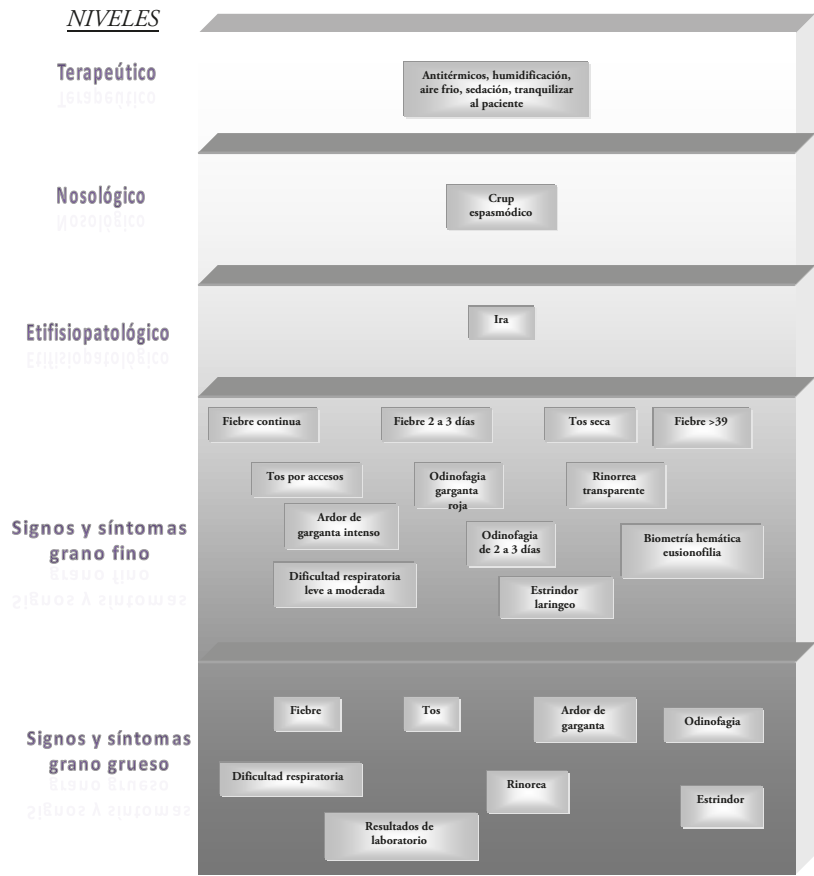
```
IF (crup espasmódico)
THEN (antitérmicos, humidificación, aire frío, sedación y
tranquilizar al paciente,1.0).
```

-Se crea el hecho:

```
(antitérmicos, humidificación, aire frío, sedación y
tranquilizar al paciente)
```

Los hechos de este caso son los elementos de los niveles del pizarrón en el dominio de la enfermedad crup espasmódico, mismos que son mostrados en la figura 19.

Figura 19
Elementos en los niveles de abstracción del pizarrón
en el dominio de la enfermedad crup espasmódico



Fuente: Elaboración propia.

Caso III: Diagnóstico: neumonía

1. Elementos del nivel SSGG.

-Se crean los hechos:

(fiebre)

(tos)

(dificultad respiratoria)

(hipoventilación)

(resultados de laboratorio)

2. Elementos del nivel SSGF.

-Se dispara el paquete de reglas Csigno_síntoma, aplicándose las reglas:

IF (fiebre)

THEN (fiebre=mayor a 39,1.0)	or
(fiebre=continua,1.0)	or
(fiebre=1 a 2 días,1.0)	or
(fiebre=2 a 3 días,1.0)	or
(fiebre=3 a 5 días,1.0)	or
(fiebre=en picos,1.0)	or
(fiebre=vespertina,1.0)	or
(fiebre=mayor a 39,1.0)	or
(fiebre=mayor a 38,1.0)	or
(fiebre=mayor a 37,1.0)	or
(fiebre=de 38 a 39,1.0)	or
(fiebre=de 38 a 39.5,1.0).	

IF (tos)

THEN (tos=seca,1.0)	or
(tos=por accesos,1.0)	or
(tos=con flema,1.0)	or
(tos=frecuente,1.0).	

IF (dificultad respiratoria)

THEN (dificultad respiratoria=leve a moderada,1.0)	or
(dificultad respiratoria=grave,1.0)	or
(dificultad respiratoria=polipnea,1.0)	or
(dificultad respiratoria=tiraje,1.0).	

IF (hipoventilación)

THEN (hipoventilación=crepitante pulmonar,1.0).

IF (resultados de laboratorio)

THEN (resultados de laboratorio=biometría	
hemática positiva,1.0)	or

(resultados de laboratorio=biometría hemática leucopenia,1.0)	or
(resultados de laboratorio=biometría hemática linfocitosis,1.0)	or
(resultados de laboratorio=biometría hemática leucocitosis,1.0)	or
(resultados de laboratorio=biometría hemática neutrofilia,1.0)	or
(resultados de laboratorio=biometría hemática neutropeña,1.0)	or
(resultados de laboratorio=biometría hemática eusinofilia,1.0)	or
(resultados de laboratorio=exudado faríngeo estreptococo neumonice,1.0)	or
(resultados de laboratorio= exudado faríngeo hemofilus influenza,1.0)	or
(resultados de laboratorio= exudado faríngeo esqueriquia coli,1.0)	or
(resultados de laboratorio= exudado de oído estreptococo hemolítico,1.0).	

-Se crean los hechos:

- (fiebre=mayor a 39)
- (fiebre=continua)
- (fiebre=2 a 3 días)
- (tos=con flema)
- (tos=frecuente)
- (dificultad respiratoria=grave)
- (dificultad respiratoria=polipnea)
- (dificultad respiratoria=tiraje)
- (hipoventilación=crepitante pulmonar)
- (resultados de laboratorio=exudado faríngeo estreptococo neumonice)
- (resultados de laboratorio=exudado faríngeo hemofilus influenza)
- (resultados de laboratorio=exudado faríngeo esquerichia coli)

3. Elementos del nivel EEFP.

-Se dispara el paquete de reglas **Cetiofisiopatología**, aplicándose la regla:

```
IF (fiebre)                                and
    (tos)                                  and
    (dificultad respiratoria)
THEN (ira,0.60).
```

-Se crea el hecho:

```
(ira)
```

4. Elementos del nivel EN.

-Se dispara el paquete de reglas **Cenfermedades**, aplicándose la regla:

```
IF (ira)
THEN (crup espasmódico,0.60)              or
    (neumonía,0.60)                       or
    (bronquiolitis infecciosa aguda,0.60).
```

-Se crean los hechos con la misma certidumbre:

```
(crup espasmódico)
(neumonía)
(bronquiolitis infecciosa aguda)
```

-Se dispara el paquete de reglas **Cdiferencial** para estos tres hechos, aplicándose la regla:

```
IF (bronquiolitis infecciosa aguda, CERT_bronquiolitis)
    and
    CERT_bronquiolitis <= 0.60            and
    (neumonía, CERT_neumonía)            and
    CERT_neumonía <= 0.60                and
    (crup espasmódico, CERT_crup)        and
    CERT_crup <= 0.60
THEN Investigar (bronquiolitis infecciosa aguda) and
    Investigar (neumonía)                and
    Investigar (crup espasmódico).
```

-Se dispara el paquete de reglas **Cnosología**, aplicándose las reglas:

```
IF (ira) and
    (fiebre=mayor a 39) and
    (fiebre=continua) and
    (fiebre=de 2 a 3 días) and
    (tos=seca) and
    (tos=por accesos) and
    (dificultad respiratoria=grave) and
    (odinofagia=de 2 a 3 días) and
    (odinofagia=garganta roja) and
    (apnea=periodos largos) and
    (ardor de garganta=intenso) and
    (biometría hemática=leucocitosis)
THEN (bronquiolitis infecciosa aguda,1.0) .
```

```
IF (ira) and
    (fiebre=mayor a 39) and
    (tos=seca) and
    (tos=por accesos) and
    (dificultad respiratoria=grave) and
    (odinofagia=de 2 a 3 días) and
    (apnea=periodos largos) and
    (ardor de garganta=intenso) and
    (biometría hemática=leucocitosis)
THEN (bronquiolitis infecciosa aguda,0.90) .
```

```
IF (ira) and
    (fiebre=continua) and
    (fiebre=de 2 a 3 días) and
    (tos=por accesos) and
    (dificultad respiratoria=grave) and
    (odinofagia=garganta roja) and
    (apnea=periodos largos) and
    (ardor de garganta=intenso)
THEN (bronquiolitis infecciosa aguda,0.80) .
```

```
IF (ira) and
    (fiebre=mayor a 39) and
    (fiebre=continua) and
    (fiebre=de 2 a 3 días) and
    (tos=seca) and
    (tos=por accesos) and
    (dificultad respiratoria=leve a moderada) and
    (odinofagia=de 2 a 3 días) and
    (odinofagia=garganta roja) and
    (ardor de garganta=intenso) and
```

```

    (estridor=laringeo)                                and
    (rinorrea=transparente)                             and
    (resultados de laboratorio=biometría
      hemática eusinofilia)
  THEN (crup espasmódico,1.0) .

  IF (ira)                                              and
    (fiebre=continua)                                  and
    (tos=por accesos)                                   and
    (dificultad respiratoria=leve a moderada)          and
    (ardor de garganta=intenso)                         and
    (estridor=laringeo)                                and
    (resultados de laboratorio=biometría
      hemática eusinofilia)
  THEN (crup espasmódico,0.90) .

  IF (ira)                                              and
    (fiebre=mayor a 39)                                 and
    (tos=por accesos)                                   and
    (dificultad respiratoria=leve a moderada)          and
    (odinofagia=de 2 a 3 días)                         and
    (ardor de garganta=intenso)                       and
    (estridor=laringeo)
  THEN (crup espasmódico,0.80) .

  IF (ira)                                              and
    (fiebre=mayor a 39)                                 and
    (fiebre=continua)                                  and
    (fiebre=de 2 a 3 días)                             and
    (tos=con flema)                                     and
    (tos=frecuente)                                    and
    (dificultad respiratoria=grave)                    or
    (dificultad respiratoria=polipnea)                 or
    (dificultad respiratoria=tiraje)                  and
    (hipoventilación=crepitante pulmonar)             and
    (resultados de laboratorio = exudado
      faríngeo estreptococo neumonice)                or
    (resultados de laboratorio=exudado
      faríngeo hemofilus neumonice)                  or
    (resultados de laboratorio=exudado
      faríngeo escherchia coli)
  THEN (neumonía,1.0)

  IF (ira)                                              and
    (fiebre=continua)                                  and
    (dificultad respiratoria=grave)                    or
    (dificultad respiratoria=polipnea)                 or
    (dificultad respiratoria=tiraje)                  and

```

```
(hipoventilación=crepitante pulmonar) and
(resultados de laboratorio = exudado
  faríngeo estreptococo neumonice) or
(resultados de laboratorio=exudado
  faríngeo hemofilus neumonice) or
(resultados de laboratorio=exudado
  faríngeo escherchia coli)
THEN (neumonía,0.90) .

IF (ira) and
  (fiebre=mayor a 39) and
  (tos=con flema) and
  (tos=frecuente) and
  (dificultad respiratoria=grave) or
  (dificultad respiratoria=polipnea) or
  (dificultad respiratoria=tiraje) and
  (hipoventilación=crepitante pulmonar)
THEN (neumonía,0.85) .
```

-Se crean los hechos con la nueva certidumbre, la cual debe ser mayor en alguno de los casos:

```
(bronquiolitis infecciosa aguda)
(neumonía)
(crup espasmódico)
```

-Se crea el hecho con la máxima certidumbre, producto de aplicar el comportamiento *backward* para llegar a esa conclusión:
(neumonía)

5. Elementos del nivel ET.

-Se dispara el paquete de reglas Cterapia

-Se aplica la regla:

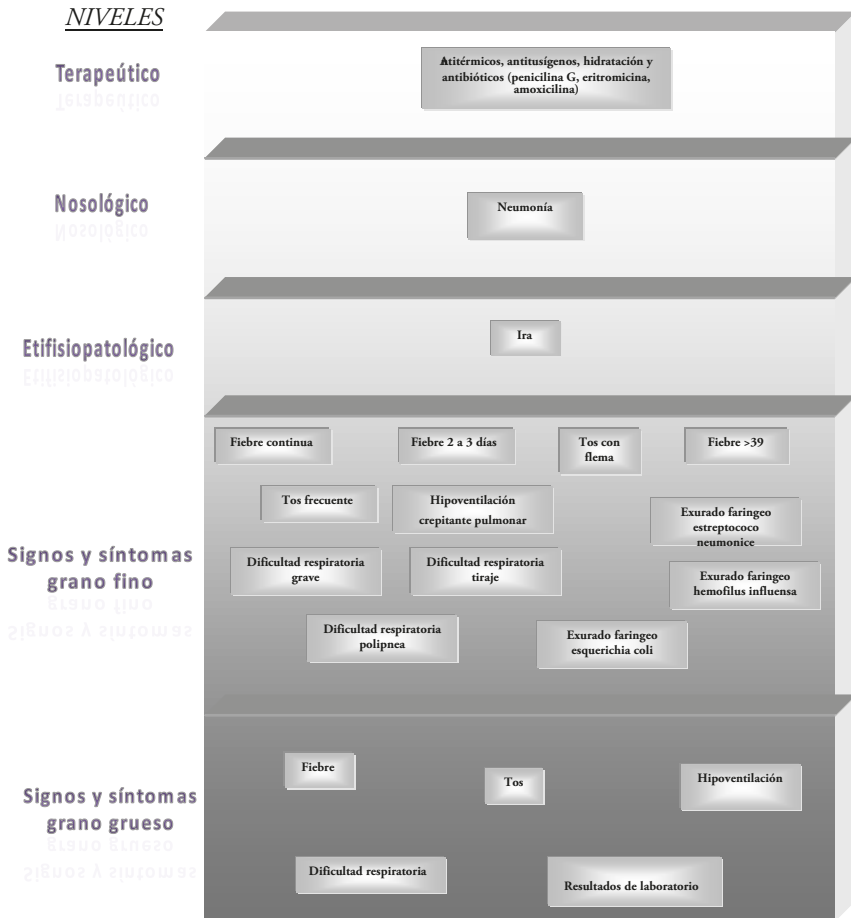
```
IF (neumonía)
THEN (antitérmicos, antitusígenos, hidratación y
  antibióticos,1.0) .
```

-Se crea el hecho:

```
(antitérmicos, antitusígenos, hidratación y antibióticos)
```

Los hechos de este caso son los elementos de los niveles del pizarrón en el dominio de la enfermedad neumonía, mismos que son mostrados en la figura 20.

Figura 20
Elementos en los niveles de abstracción del pizarrón
en el dominio de la enfermedad neumonía



Fuente: Elaboración propia.

Los tres ejemplos antes discutidos: bronquiolitis infecciosa aguda, crup espasmódico y neumonía, constituyen nuevos casos, los cuales podrían ser almacenados en la librería de casos si no existieran en ésta casos similares. De esta forma, el contenido de la librería de casos se puede ir incrementando de forma

tal que en la solución de un nuevo problema, algunos de estos casos resulten ser recuperados dadas su similitud con el problema que se intenta resolver y de esta forma aplicarlos a la solución del problema.

Como se puede notar en los ejemplos anteriores, en un caso se pueden identificar tres elementos fundamentales:

- El estado inicial del cual se parte.
- La secuencia de estrategias de razonamiento que fueron aplicadas para solucionar el problema.
- La meta a la cual se arribó.

Cuando un caso es seleccionado, entonces de forma general la solución del problema debe ser dirigida por este caso.

Epílogo

Dado que en el presente libro se presentó una arquitectura multirrazonamiento para un sistema experto, más que el desarrollo de un sistema experto en sí, se ha enfocado a la descripción y discusión de las características estructurales y funcionales de tal arquitectura, sin abordar los detalles relacionados con la construcción de dicho sistema.

Esta arquitectura del sistema experto multirrazonamiento contempla, en ciertos aspectos, las características y el estilo de funcionamiento similares a los de otros sistemas conocidos; sin embargo, los componentes y estrategias incorporadas a su arquitectura, hacen que su estilo de trabajo en la solución de problemas sea novedoso, porque presenta las siguientes características:

- La tarea que realiza es de diagnóstico, sin embargo es posible contemplar otras tareas tales como las de interpretación y predicción, ya que comparten características comunes. La selección de la tarea que resolverá el sistema dependerá de la incorporación de la base de conocimientos contenida en el mismo, *i.e.* las reglas y los comportamientos adecuados.
- Es multirrazonamiento, debido a que comprende varias estrategias de razonamiento, a las que se le pueden añadir otras más.

- Tiene metaconocimiento, ya que tiene conocimiento del dominio y de las estrategias de razonamiento.
- Establece competencia entre cada tipo de razonamiento, escogiendo el más adecuado que aplicará a cada parte del problema a resolver.
- Pertenecce a la clase de sistemas pizarrón, ya que cuenta con una estructura de pizarrón (memoria de trabajo del sistema), donde la estructura de datos se divide en niveles de mayor a menor abstracción.
- El control (mecanismo de competencia) y la información (pizarrón) son centralizados, mientras que las estrategias de razonamiento son distribuidas.

La arquitectura propuesta en este sistema constituye una aproximación a la solución cooperativa emergente entre las estrategias de razonamiento o comportamientos de problemas intranodo. En particular, ésta ha sido concebida como una aplicación pizarrón para la solución de problemas de tipo diagnóstico.

La hipótesis de que este sistema experto multirrazonamiento podrá resolver un problema de forma más eficiente que un sistema experto con una única estrategia de razonamiento, se puede corroborar totalmente hasta que se implemente el sistema. En este libro se corrobora parcialmente en el capítulo “Un sistema experto multirrazonamiento para el diagnóstico médico”, al interactuar diferentes comportamientos.

Dado que un sistema experto requiere de un dominio de aplicación muy específico, y que el diagnóstico médico ha cobrado importancia en nuestros días, se seleccionó como una aplicación, el diagnóstico de enfermedades infecciosas infantiles.

Entre las enfermedades infecciosas infantiles más frecuentes se encuentran la rubéola, el sarampión, la roséola, la escarlatina, la varicela, el dengue, la tifoidea, la parotiditis viral o papearas, la parotiditis bacteriana, el crup espasmódico o laringitis es-

tridulosa, la bronquiolitis infecciosa aguda, la neumonía, la otitis viral y la otitis bacteriana.

La base de conocimientos consiste en:

- Un conjunto de reglas conformadas por los signos y síntomas de dichas enfermedades (que manifiesta el paciente a diagnosticar), para realizar un diagnóstico clínico, así como resultados de laboratorio para realizar un diagnóstico de laboratorio, con el objeto de que finalmente se genere un diagnóstico integral, con la aportación de ambos diagnósticos. Dichas reglas tienen un grado de certeza avalado por un pediatra, esto es, por un experto en el tema específico.
- Un conjunto de casos análogos, para que el sistema solucione nuevos problemas por analogía con los antiguos ya almacenados.
- Las estrategias de razonamiento utilizadas son: razonamientos con encadenamiento de reglas hacia adelante y hacia atrás, el diagnóstico diferencial y el basado en casos; que han sido las más útiles, tanto en los sistemas expertos como en los médicos, al realizar un diagnóstico.

Dentro de la amplia gama de sistemas expertos desarrollados para tareas de diagnóstico médico, aquellos basados en reglas han resultado ser los mejores candidatos para este tipo de aplicación; por otra parte, han sido varias las aplicaciones de sistemas pizarrón desarrolladas para tareas de diagnóstico médico (Adedeji, 1992).

Por todo esto, la importancia de lo presentado en este libro, radica en que se tocan problemas fundamentales para la inteligencia artificial, tales como el surgimiento de pericia cooperativa intranodo entre fuentes de razonamiento y la aplicación de sistemas pizarrón en tareas de diagnóstico médico.

Algunas de las principales ventajas que ofrece esta arquitectura son:

- Representa una utilidad importante en la detección de fallas o desperfectos de un sistema, sin la presencia física del personal experto o perito.
 - Otros sistemas bajo este modelo podrían estar dirigidos a diversas clases de usuarios, como por ejemplo: el diagnóstico médico en lugares carentes de personal médico, como herramienta en la formación o evaluación de los estudiantes de medicina; o el caso de diagnóstico educativo, en instituciones como la Secretaría de Educación Pública, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, las instancias acreditadoras o evaluadoras de los programas de educación superior, o las propias universidades, al evaluar programas de estudios y establecer la etapa de su desarrollo sin la presencia de comités expertos.
- Estandariza el proceso de diagnóstico, al permitir la unificación de criterios diagnósticos, así como la disponibilidad del conocimiento de los expertos con el fin de alcanzar una alta calidad diagnóstica. Cuando el proceso de diagnóstico proporcionado por este sistema se aplica, se logra que el diagnóstico sea de la misma calidad para todo lo que será diagnosticado (cada paciente, en el caso de la medicina). La capacidad del sistema para aplicar diferentes estrategias de razonamiento asegura, además, suficiente profundidad en las posibilidades del diagnóstico, la cual, en algunos casos, incluso rebasa la capacidad de un experto humano (el médico en el caso de la medicina), por la amplitud del conocimiento específico contenido en el propio sistema.
- Optimiza los recursos económicos, ya que resolverá un problema de una manera más eficiente que un siste-

ma experto con una única estrategia de razonamiento. Para llegar a un diagnóstico y tratamiento final, el sistema propone sólo aquellos estudios (de laboratorio, en el caso de la medicina) necesarios y útiles. Este hecho exige del proceso diagnóstico que se efectúen los estudios que se consideren necesarios y adecuados, evitando el dispendio de recursos o la solicitud de estudios incompletos, los cuales, en la gran mayoría de las veces, incrementan considerablemente el tiempo dedicado al proceso diagnóstico, y por supuesto al cargo económico asociado a éste. Por lo anterior, el modelo propuesto contribuye a reducir el costo asociado al proceso de diagnóstico.

- Trabaja en un solo nodo, pero se puede expandir a otros nodos donde cada nodo resuelva una tarea o parte de la tarea y posea diferentes estrategias de razonamiento. De esa manera, se estudia la solución cooperativa de problemas distribuidos por un grupo de agentes; los agentes cooperan entre sí en el sentido de que no existe un único agente con la capacidad ni los recursos necesarios para la solución total del problema, de forma tal que los distintos agentes sean identificados como proveedores de soluciones parciales del problema.
- La arquitectura contempla procesos de aprendizaje, con lo que el sistema mejora su desempeño a partir de su propia experiencia al incorporar casos nuevos a la librería de casos.

Sin embargo, como todo sistema experto, es imposible representar o plasmar todo el conocimiento y experiencia en un sistema artificial, aunque la cantidad y calidad del conocimiento contenido en el sistema puede ser mayor a la de un experto humano promedio. Además, el buen desempeño de la arquitectura depende en gran parte de la habilidad y destreza del usuario

para realizar el planteamiento inicial del problema. También pudieran requerirse de otras estrategias de razonamiento necesarias para solucionar problemas de diagnóstico, identificadas pero no incluidas aquí, como el razonamiento basado en modelos, el razonamiento por reconocimiento de patrones y el razonamiento probabilístico.

Por otro lado, se podría optimizar el procesamiento y mejorar la referida arquitectura del sistema experto multirrazonamiento si se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- Incluir otras estrategias de razonamiento requeridas para la solución de tareas de diagnóstico, tales como el basado en modelos, reconocimiento de patrones y probabilístico.
- Desarrollar completamente el razonamiento basado en casos, en el cual quedaron puntos pendientes para desarrollar en este libro, como podría ser la incorporación de nuevos casos a la librería de casos, y el refinamiento sobre la selección del caso más adecuado que corresponda con el problema que se intente resolver.
- Expandir la arquitectura a una red de nodos, donde cada nodo posea diferentes estrategias de razonamiento.
- Visualizar la forma en la cual se soluciona un problema para que el usuario aprenda las estrategias.
- Incluir estrategias de aprendizaje; *i.e.*, que cada cierto tiempo la experticia contenida en él se vaya incrementando y/o modificando:
 - Al aprender otros tipos de comportamientos.
 - Al modificar su propio conocimiento en la solución de problemas.
 - Al aplicar la secuencia de razonamientos más apropiados para resolver un problema.
- Contener una amplia base de conocimientos, para enriquecer al sistema tanto en la aplicación de las reglas

y de los casos, haciendo más eficiente la ejecución de los comportamientos, como en la inclusión de varias estrategias de razonamiento adecuadas al tipo de tareas que resolverá el sistema.

Finalmente, es posible contar con un sistema experto con las características y recomendaciones dadas, que iguale o, tal vez, supere a un experto humano, en el sentido de su confiabilidad, utilidad, estandarización y disponibilidad de conocimientos y optimización de recursos.

Bibliografía

- Adedeji, B. (1992). *Expert Systems: Applications in Engineering and Manufacturing*. EUA: Prentice Hall.
- Barr, A. y Feigenbaum, E. A. (1989). *The Handbook of Artificial Intelligence*. Vol. I, II y IV. E.U.A.: Heuris Tech Press.
- Engelmore, R. y Morgan T. (1988). *Blackboard Systems*. E.U.A.: Addison Wesley Publishing Company.
- González, P.P. (1995). *Sistemas expertos facultativamente asociados en red cooperativa con arquitecturas de pizarrón. Una aplicación en la consulta e interconsulta médica*. Tesis de maestría. Instituto de Investigaciones Biomédicas-UNAM, México.
- Hayes-Roth, F., Waterman, D. y Lenat, D. B. (1983). *Building Expert Systems*. E.U.A.: Addison Wesley.
- Hayes Roth, B. (1985). A Blackboard Architecture for Control. En: *Artificial Intelligence*, 26(3), pp. 251-321. UK: Elsevier Science Publishers.
- Negrete, J. y González, P. P. (1998). "Net of Multi-Agent Expert Systems with Emergent Control". En: *Expert Systems with Applications*. Vol. 14. . E.U.A
- Negrete, J., González, P.P. y Guerra, A. (1996). *Pericia artificial. Un aprendizaje constructivista de sistemas expertos*. México: Editorial Limusa.
- Nii, H.P. (1989). *Blackboard Systems. The Handbook of Artificial Intelligence*. Vol. 4. Editores Avron Barr. Paul R. Cohen y Edward A. Feigenbaum. E.U.A.: Addison Wesley.
- Sánchez y Beltrán, J.P. (1990). *Sistemas expertos. Una metodología de programación*. México: Macrobit Editores.

Arquitectura de pizarrón de un sistema experto ilustrada con el diagnóstico médico, de María Eugenia Cabello Espinosa, fue editado en la Dirección General de Publicaciones de la Universidad de Colima, avenida Universidad 333, Colima, Colima, México, www.ucol.mx. La edición se terminó en julio de 2018. En la composición tipográfica se utilizó la familia Garamond. El tamaño del libro es de 22.5 cm de alto por 16 cm de ancho. Programa Editorial: Alberto Vega Aguayo. Gestión administrativa: María Inés Sandoval Venegas. Corrección: Glenda Gilda Herrera Callejas. Cuidado de la edición: Alberto Vega Aguayo.

Un sistema experto posee métodos de razonamiento, conocimientos y habilidades para resolver problemas de un dominio específico, en una forma similar a como lo haría un experto humano. Los sistemas expertos pueden verse como intermediarios entre los expertos humanos, quienes interactúan con el sistema en el modo adquisición de conocimiento, y los usuarios humanos, quienes interactúan con el sistema en el modo consulta.

María Eugenia Cabello Espinosa

Doctora en programación declarativa e ingeniería de la programación por la Universitat Politècnica de València, en España. Sus intereses de investigación se centran en los sistemas expertos, las líneas de productos software, el desarrollo de software dirigido por modelos y las ontologías.



UNIVERSIDAD DE COLIMA