

# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA EXPERTO DE DIAGNÓSTICO DE MENINGITIS AGUDA SUPURADA, BASADO EN MÁQUINA DE INFERENCIA BAYESIANA**

**Silvia Herrera Delgado**

Universidad de la República Oriental del Uruguay, Facultad de Medicina,  
Hospital de Niños Pereira Rossell  
Montevideo, Uruguay, 11600  
silviaherrera1458@hotmail.com

**Fernando Machado Píriz**

Universidad Pontificia de Salamanca, Campus de Madrid, Facultad de Informática,  
Madrid, 28220  
Universidad Católica del Uruguay, Facultad de Ingeniería y Tecnologías  
Montevideo, Uruguay, 11600  
fmachado@ucu.edu.uy

**Ernesto Ocampo Edye**

Universidad Pontificia de Salamanca, Campus de Madrid, Facultad de Informática,  
Madrid, 28220  
Universidad Católica del Uruguay, Facultad de Ingeniería y Tecnologías  
Montevideo, Uruguay, 11600  
eocampo@ucu.edu.uy

**Alvaro Ruibal Laborda**

Universidad Pontificia de Salamanca, Campus de Madrid, Facultad de Informática,  
Madrid, 28220  
Universidad Católica del Uruguay, Facultad de Ingeniería y Tecnologías  
Montevideo, Uruguay, 11600  
aruibal@ucu.edu.uy

## RESUMEN

En el presente trabajo se investiga la aplicación de la inteligencia artificial para crear un sistema experto de diagnóstico de la enfermedad conocida como Meningitis Aguda Supurada (Meningitis de origen bacteriano, provocada por bacterias tales como el Meningococo, Hemófilus, Estreptococo, Neumococo u otras). Se desarrolla una máquina de inferencia bayesiana, y en base a la información brindada por el experto se construye una base de conocimiento. El sistema es capaz de aprender de sus propias decisiones y de “explicar” cómo llega al diagnóstico en base a las diferentes etapas realizadas.

**Palabras claves:** meningitis, meningococo, diagnóstico, sistema experto, inteligencia artificial, aplicaciones médicas.

## ABSTRACT

In this work, the application of artificial intelligence techniques is investigated to create an expert system to diagnose the disease known as Acute Bacterial Meningitis (it is meningitis caused by bacteria such as Meningococcus, Haemophilus, Streptococcus, Pneumococcus, and other). A bayesian inference machine is developed, and a knowledge base is constructed, based on information given by the expert. The system can learn from its own decisions, and it can “explain” the path followed to get to a diagnose, through the different stages.

**Keywords:** meningitis, meningococcus, medical diagnostic, expert system, artificial intelligence, medical applications

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del sistema experto que se investiga y desarrolla en este trabajo es el apoyo al diagnóstico de la enfermedad conocida como Meningitis Aguda Supurada. En realidad, al hablar de Meningitis Supurada lo que se está indicando es que se trata de una Meningitis de origen bacteriano, provocada por bacterias tales como el Meningococo, Hemófilus, Estreptococo, Neumococo u otras.

Existen otros tipos de meningitis, llamadas Meningitis Virales, y otras enfermedades cuyos cuadros son similares a los de la meningitis bacteriana, por lo cual el sistema experto deberá ser capaz de filtrar y eliminar los diagnósticos diferenciales.

Una vez realizada la evaluación de la factibilidad del sistema experto que ha de construirse, la cual se omite por razones de espacio, se documenta la **Adquisición del Conocimiento**, para lo cual se realiza en primer término una aproximación informal al problema, a los métodos del experto y al contexto general en que se desarrolla este tipo de actividad. Como resultado de estas acciones se obtiene una primera identificación de objetos y de procesos para el sistema. Estos objetos y procesos se revisan nuevamente más adelante, razón por la cual no se agregan al documento en esta etapa.

Habiendo ya logrado una mayor compenetración del experto con el problema y con los métodos que es posible aplicar desde el punto de vista de la informática, se realiza en la etapa de **Conceptualización**, una investigación mucho más puntillosa y exhaustiva de los elementos que el experto toma en cuenta para realizar los distintos diagnósticos diferenciales y para tomar decisiones en cuanto a los análisis y estudios que se deben ordenar. En esta etapa se le solicita al mismo que explique si existe algún método genérico para el estudio de cada paciente, independiente del grado de experiencia del médico tratante y de la presunta enfermedad del paciente, para, de esta forma, poder encarar un sistema experto que actúe allí donde realmente se lo necesita, es decir, donde la experiencia en el tema es escasa. En esta etapa se determinan con precisión todos los posibles diagnósticos diferenciales de la enfermedad que se desea diagnosticar, y se determinan también exhaustivamente todos los síntomas y signos que normalmente se buscan para emitir un diagnóstico positivo o para eliminar un diagnóstico diferencial. El resultado de esta etapa es una tabla **Objeto-Atributo-Valor**.

Se determinan también los procesos realizados por el experto, ahora con gran exactitud, y se formalizan en un principio de modelo de proceso. Se realizan también los mapas conceptuales y de conocimientos necesarios para completar el modelo del sistema.

A continuación se tratan los aspectos relacionados con la implementación del sistema experto. En “**Análisis de diferentes mecanismos para implementación**” se analizan diversas alternativas de implementación, en base a la información disponible de sistemas expertos que ya han sido realizados y que se encuentran en producción, y en las diferentes formas de representación del conocimiento existentes. Se desarrolla entonces el fundamento teórico para el “Sistema Experto basado en reglas con mecanismo de inferencia bayesiano”, las estructuras de datos y los procesos del sistema implementado.

A partir del marco conceptual, modelo de proceso y definición del mecanismo de inferencia, se identifican junto con el experto, las probabilidades de las enfermedades y de los síntomas necesarios para que el sistema bayesiano opere, obteniendo con el apoyo del experto una **Tabla de Síntomas Relevantes** para cada enfermedad, con las probabilidades asociadas.

Por último se evalúan diferentes formas de implementación de la interfase de usuario y de los almacenamientos de las bases de conocimiento.

## 2. PRIMERA APROXIMACIÓN AL PROCESO DE DIAGNÓSTICO DE MENINGITIS SUPURADA.

Para comenzar a conocer los elementos involucrados en el diagnóstico de esta enfermedad, se realiza un encare informal con el experto, tratando de obtener un panorama general de los métodos utilizados habitualmente por él. Se pregunta al experto sobre diferentes casos, se confrontan declaraciones y se revisan historias clínicas existentes. El resultado de esta etapa es el reconocimiento de un primer conjunto de objetos y procesos que estarán involucrados en el sistema experto.

El diagnóstico de esta enfermedad se realiza, como es habitual en muchas enfermedades, en dos etapas: en primer lugar se emite un diagnóstico clínico de la enfermedad, el cual, de ser positivo, implica la realización de ciertos análisis de laboratorio para confirmar dicho diagnóstico. Estos análisis implican la ejecución de algunas maniobras médicas de riesgo para el paciente, lo cual determina que no se realicen si no existe una presunción clínica suficiente que las justifique.

A partir de los síntomas que el paciente (o la madre, en el caso de los recién nacidos y lactantes) declara, y de los resultados del examen físico realizado por el médico, se obtiene un conjunto de síntomas y signos que pueden determinar o descartar el diagnóstico clínico de la meningitis, y, en particular, de la meningitis supurada. Cuando el diagnóstico es positivo, se procede a realizar una punción lumbar para efectuar una serie de análisis sobre el líquido

céfalo-raquídeo. Con los resultados de estos análisis se realiza un diagnóstico definitivo de la enfermedad y de su etiología.

Existe una serie de posibles **diagnósticos diferenciales** que el experto debe ser capaz de descartar, pero ello se estudiará más adelante, cuando llegue el momento de profundizar en el mecanismo de diagnóstico.

Diagnóstico clínico.

A los efectos de emitir el diagnóstico clínico, el médico considera una serie de síntomas y signos, de entre los cuales podemos extraer los siguientes, que indican la probable existencia de la enfermedad que se considera

Depresión de conciencia.

Irritabilidad.

Letargo.

Confusión mental.

Llanto débil.

Llanto agudo.

Succión débil.

Vómitos.

Diarrea.

Hipotermia.

Fiebre.

Convulsiones.

Hipotonía muscular.

Fontanela hipertensa.

Signos menígeos (rigidez de nuca, rigidez de tronco, signo de Kernig y signo de Brudzinsky).

Coma.

Cefaleas.

Fotofobia.

Acusofobia.

Paresia.

Parálisis.

Toque de pares craneanos.

Síndrome purpúrico.

Shock.

Esta es una lista inicial, de los elementos más comúnmente tenidos en cuenta para el diagnóstico de la meningitis supurada, y no es exhaustiva. Es una colección informal de los síntomas tenidos en cuenta por un médico que ya tiene algunos años de experiencia en el diagnóstico en emergencia, sala y policlínica. Más adelante trataremos de encontrar un procedimiento estándar que sea más independiente del grado de experiencia del médico involucrado, y que, por lo tanto, también sirva para cumplir funciones de enseñanza, práctica, etc.

Algunos de los síntomas resultan mutuamente excluyentes:

- No. 5 y 6 (llanto débil y llanto agudo).
- No. 10 y 11 (hipotermia y fiebre).

Existe además lo que los médicos llaman el Síndrome Meníngeo, que es una combinación de los siguientes síntomas y signos:

- Fiebre.
- Cefalea.
- Vómitos.
- Signos menígeos.

Se procede a continuación a detallar los síntomas y signos relativos a la clasificación de los pacientes en Recién Nacidos y lactantes, por una parte, y Niños mayores de 2 años, por la otra. Se han listado todos los síntomas y signos que pueden ser considerados, y se ha solicitado al experto que diga cuáles de ellos implican la posible existencia de la enfermedad, su frecuencia relativa en los casos de diagnóstico positivo, y qué combinaciones de ellos implican la determinación de un diagnóstico positivo o negativo de meningitis. Debido a la extensión de las tablas resultantes, sólo se transcribe un ejemplo de ellas.

### **Leyendas de la tablas:**

Muy sugestivo indica si el síntoma o signo induce, por sí mismo y en forma independiente de la presencia o ausencia de cualquier otro síntoma, a sospechar de la existencia de la enfermedad. Los valores posibles manejados son SI, NO, No Aplicable (NA).

Frecuencia Observada indica con qué frecuencia relativa se encuentra este síntoma o signo en los cuadros de esta enfermedad. Los valores posibles utilizados son S (Siempre), AM (A Menudo), RV (Rara Vez) y NA (No Aplicable).

### Síntomas y Signos aplicables a Recién nacidos y lactantes (menores de 24 meses).

Síntoma o Signo aplicable	Muy sugestivo	Frecuencia observada
1. Depresión de conciencia.	SI	AM
2. Irritabilidad.	NO	AM
3. Letargo.	NO	AM
4. Confusión mental.	NA	NA
5. Llanto débil.	NO	AM
6. Llanto agudo.	NO	AM
7. Succión débil.	NO	AM
8. Vómitos.	NO	AM
9. Diarrea.	NO	RV
10. Hipotermia.	NO	RV
11. Fiebre.	NO	AM
12. Convulsiones.	NO	AM
13. Hipotonía muscular.	NO	AM
14. Fontanela hipertensa.	SI	S
15. Signos meníngeos.	SI	AM
16. Coma.	SI	RV
17. Cefaleas.	NA	NA
18. Fotofobia.	NA	NA
19. Acusofobia.	NA	NA
20. Paresia.	NO	RV
21. Parálisis.	NO	RV
22. Toque de pares craneanos.	NO	RV
23. Síndrome purpúrico.	NO	RV
24. Shock.	NO	RV

### Síntomas y Signos aplicables a niños mayores de 2 años.

Síntoma o Signo aplicable	Muy sugestivo	Frecuencia observada
1. Depresión de conciencia.	NO	RV
2. Irritabilidad.	NO	RV
3. Letargo.	NO	AM
4. Confusión mental.	NO	RV
5. Llanto débil.	NA	NA
6. Llanto agudo.	NA	NA
7. Succión débil.	NA	NA
8. Vómitos.	NO	S
9. Diarrea.	NO	RV
10. Hipotermia.	NO	RV
11. Fiebre.	NO	S
12. Convulsiones.	NO	RV
13. Hipotonía muscular.	NO	RV
14. Fontanela hipertensa.	NA	NA
15. Signos meníngeos.	SI	S
16. Coma.	NO	RV
17. Cefaleas.	NO	S
18. Fotofobia.	NO	AM
19. Acusofobia.	NO	RV
20. Paresia.	NO	RV
21. Parálisis.	NO	RV
22. Toque de pares craneanos.	NO	RV
23. Síndrome purpúrico.	NO	RV
24. Shock.	NO	RV

## **Combinaciones de Síntomas y Signos que determinan un diagnóstico clínico de Meningitis supurada.**

Recién Nacidos y Lactantes.

Solos: 1, 14, 15, 16.

Combinados: 11 + 12, 11 + 20, 11 + 21, 11 + 22, 11 + 23, 11 + 24

Refuerzan: 2, 3, 5 ó 6, 7, 8 y 13.

No se consideraron: 9 y 10 (muy inespecíficos).

Niños mayores de 2 años.

Solos: 15

Combinados: 11 + 1, 11 + 12, 11 + 20, 11 + 21, 11 + 22, 11 + 23, 11 + 16

Refuerzan: 8, 11, 17, etc.

Como puede verse, en el caso de los niños mayores de 2 años alcanza con que presenten signos meníngeos para que se realice la punción lumbar.

### **Análisis de laboratorio.**

En esta etapa se identifican y listan todos los análisis de laboratorio y estudios que el experto utiliza habitualmente para realizar el diagnóstico. Los detalles de cada análisis o estudio son desarrollados posteriormente, directamente sobre las tablas de Objeto-Atributo-Valor. Se omiten los detalles por razones de espacio.

Líquido céfalo - raquídeo:

Hemograma.

Velocidad de eritro-sedimentación.

Proteína C-Reactiva en plasma.

Glicemia.

Orina completa.

Azoemia.

Ionograma.

Hemocultivos.

Tomografía axial computada.

Ecografía transfontanelar.

### **3. CONCEPTUALIZACIÓN, DESARROLLO DE LA BASE DE CONOCIMIENTOS.**

Partiendo de las bases establecidas en la investigación preliminar, se solicita al experto que indique:

- Si existen otras enfermedades que puedan ser confundidas con la meningitis aguda supurada, y en caso positivo, que las detalle.
- Si existen métodos o procedimientos estándar de revisión o búsqueda de síntomas del paciente que puedan ser tomados como guía para el sistema experto.

Como consecuencia de la interacción con el experto se llega a un conjunto de posibles diagnósticos clínicos que constituyen los diagnósticos diferenciales de la enfermedad en cuestión. Es decir, durante el proceso de determinación del diagnóstico, el médico tratante habitualmente debe considerar la posibilidad de existencia de estas enfermedades, y realizar exámenes, análisis o estudios tendientes a descartar los diagnósticos diferenciales. Estos diagnósticos se presentan en la próxima sección.

El experto también indica que, efectivamente, existe un procedimiento patrón para examinar al paciente que llega a Emergencia. Este procedimiento consiste en realizar una **serie de etapas**, comenzando con el interrogatorio del paciente o de la madre en su defecto, siguiendo por el examen físico, seguido por los análisis o estudios que convinieren. Este método se encuentra documentado en la sección "Recolección de los datos indicativos de patología", que se encuentra más adelante.

### **Diagnósticos Clínicos**

Meningitis aguda supurada - Meningococo

Meningitis aguda supurada - Neumococo

Meningitis aguda supurada - Hemófilus

Meningitis aguda supurada - Estreptococo

Meningitis aguda supurada - Otros Gram (-)

Meningitis aguda viral.

Meningitis tuberculosa.

Encefalitis.

Absceso cerebral.

Meningismo.

Reacción meníngea de vecindad (sinusitis, otitis, etc.).

Hemorragia meníngea.

Tumor cerebral.

### **Recolección de los datos indicativos de patología.**

Estos datos incluyen los parámetros obtenidos de:

- Interrogatorio, o síntomas.

- Examen físico, o signos
- Resultados de análisis y estudios ordenados.

Se listan a continuación ordenados en la forma que aparecerán en la base de datos correspondiente, y agrupados de la manera en que metódicamente el médico los chequea, que es también la forma en que el sistema experto habrá de presentarlos al usuario:

### Síntomas o Interrogatorio.

Examen físico de piel y mucosas.  
Examen físico Linfoganglionar.  
Examen físico de Cráneo y Cara.  
Examen físico de abdomen.  
Examen físico cardiovascular.  
Examen físico Pleuropulmonar.  
Examen físico bucofaríngeo.  
Examen físico de oídos.

Examen físico de ojos y nariz.  
Examen Físico Neurológico.  
Signos meníngeos.  
Análisis LCR.  
Análisis de sangre.  
Otros síntomas, signos o resultados de análisis.  
Tomografía computada.  
Ecografía Transfontanelar.

A los efectos de simplificar la aplicación, se han categorizado los valores de los atributos. Este proceso, que normalmente es realizado por el médico, es absolutamente lineal para cada parámetro, y no reviste ninguna dificultad. Por ejemplo, la presión arterial puede ser considerada normal, alta o baja, pero estos rangos dependen de la edad y peso del paciente. En la actual aplicación el médico debe registrar el síntoma ya categorizado. En una aplicación real, el sistema se encargaría de realizar todas estas transformaciones automáticamente.

### Identificación de objetos.

En función de los datos brindados por el experto, se ha podido identificar una serie de objetos que intervienen en el sistema. Las relaciones entre ellos dan lugar a otros objetos propios de la modelización, como ser la relación entre Paciente y cada uno de los Exámenes, Síntomas o tipos de análisis. Estos nuevos objetos no se muestran en su totalidad, por considerarse redundante, ya que en todo momento se trata de exámenes, síntomas y análisis referidos a un paciente en particular. De cualquier manera, lo correcto es modelar el paciente y los diferentes análisis, exámenes y otros elementos por separado, para de esa manera captar el verdadero sentido de los objetos en el modelo.

Por otro lado, surgen algunas otras relaciones como ser el resultado del análisis bacteriológico del líquido céfalo-raquídeo, que se puede ver como una relación entre dicho líquido y las bacterias que se consideran en este modelo. Lo mismo se aplica al Hemocultivo, donde se puede apreciar una relación entre la sangre del paciente y las bacterias.

A los efectos de modelar gráficamente y poder visualizar algunos niveles de abstracción, se agrupan los exámenes físicos en un objeto, y lo mismo se hace con las enfermedades para lograr el diagnóstico clínico primario y, más adelante, el diagnóstico clínico diferencial.

Por ejemplo, se identifica y modela el objeto Paciente de la siguiente forma:

Objeto	Atributo	Valor
Paciente (P)	identificación	Nombre, No. cédula
	Edad	Meses y días
	Sexo	M o F
	Peso	Kg
	Talla	Cm
	Perímetro craneano al ingreso	Cm

Existen muchos otros objetos identificados, tales como **Síntomas (SI)**, **Examen físico de piel (EFP)**, **Examen Físico de mucosas (EFM)**, **Examen físico Linfoganglionar (EFLG)**, **Examen físico cardiovascular (EFCV)**, **Signos meníngeos (SM)**, **Enfermedad (EN)**, **Diagnóstico Clínico (DC)**, etc, cuyo detalle no se incluye por razones de espacio.

### Modelo de Proceso.

En esta sección se documenta la secuencia de procesos realizada por el experto para alcanzar la meta. A tales efectos, se ha determinado con rigurosidad todas las secuencias de decisiones parciales que el médico toma, identificando los atributos involucrados en cada una de ellas.

Fundamentalmente se indica en este modelo cuál es el orden en que el experto realiza los diferentes exámenes y ordena los estudios o análisis del paciente.

Los atributos involucrados en cada uno de los procesos pueden variar sustancialmente de acuerdo al estado del paciente, la experiencia del médico, las doctrinas utilizadas en el centro asistencial y la disponibilidad de medios del mismo.

En cuanto a los exámenes físicos, se ha optado por presentarlos en forma agrupada, para no oscurecer el modelo. Es claro que las diferentes etapas de estos exámenes se realizan en forma secuencial y de acuerdo al orden anteriormente indicado.

Nombre del Proceso	Proceso Precedente	Proceso Externo
<b>SP</b> (Síntomas o Interrogatorio)	Presentación del paciente	Interrogatorio
<b>EXFP</b> (Exámenes Físicos)	SP	Examen Físico
<b>EFNP</b> (Examen Neurológico)	EXFP	Examen Neurológico
<b>SMP</b> (Signos meníngeos)	EFNP	Búsqueda de Signos Meníngeos
<b>DCP</b> (Emisión de Diagnóstico Clínico)	Exámenes Clínicos	Indicación de Otros Estudios y/ o tratamiento
<b>CQLCRP</b> , <b>LCRP</b> , <b>PBLCR</b> (Análisis Líquido Céfal Raquídeo)	Interrogatorio Examen Físico Examen Neurológico Signos meníngeos.	Punción Lumbar y estudios de laboratorio.
<b>ASP</b> y <b>PH</b> (Análisis de sangre)	Concurrente con análisis de LCR	Extracción de sangre y estudios de laboratorio.
<b>EDFP</b> (Exudado Faríngeo)	Concurrente con análisis de LCR	Estudios de laboratorio.
Otros síntomas, signos o resultados de análisis.	A requerimiento, depende de la situación del paciente.	Otros estudios de Laboratorio
<b>TP</b> (Tomografía computada)	Opcional, por último	Tomografía
<b>ETP</b> (Ecografía Transfontanelar)	Opcional, por último	Ecografía
<b>DDP</b> (Emisión del Diagnóstico Diferencial)		Diagnóstico definitivo y tratamientos.

#### 4. ANÁLISIS DE DIFERENTES MECANISMOS PARA IMPLEMENTACIÓN.

Se analizan diferentes aspectos que deben cumplir los sistemas expertos para que su implementación sea viable y su operación efectiva. Además se presentan algunos métodos de resolución que han sido empleados en sistemas reales exitosos, con el fin de que, observando sus principales características, se pueda obtener una idea de cuál sería el método de implementación más adecuado a los propósitos del sistema experto de Diagnóstico de Meningitis.

Davis, un destacado estudioso de sistemas expertos, indica que los principales puntos del saber convencional son:

- Separar el generador de inferencias de la base de conocimientos.
- Utilizar una representación uniforme, por lo que las reglas de producción se vuelven la representación preferida.
- Mantener simple el generador de inferencias y la estructura de control.
- Favorecer los problemas que requieran el uso de conocimiento asociativo empírico.

Con estos principios se tiene un adecuado punto de partida para el diseño de un sistema experto. La representación basada en reglas permite añadir conocimientos, con lo cual es posible combinar el conocimiento que se comprende “profundamente”, a nivel teórico, con otros de índole puramente empírica.

El utilizar una estructura de control relativamente simple es también muy importante, ya que reduce la complejidad global y permite, en muchos casos, “explicar” cómo el sistema llega a sus conclusiones.

Todos los sistemas expertos analizados se centran en áreas temáticas concretas y bien definidas, al igual que el sistema que nos ocupa. Tal como se ha visto en el curso, estos sistemas, y el que se pretende construir, siguen los siguientes principios:

- Centrarse en un área concreta de una especialidad que no contenga una gran cantidad de sentido común. En el caso del diagnóstico de Meningitis, existen métodos bien definidos para obtenerlo, bastante independientes de la aplicación del sentido común.
- Seleccionar una tarea que no sea ni demasiado fácil ni demasiado difícil para los expertos humanos. Si bien en algunos casos el diagnóstico de meningitis aguda supurada puede complicarse en las etapas iniciales, existen algunos estudios que simplifican el mecanismo, y que dan una relativa seguridad al médico tratante.
- Definir la tarea claramente. En el caso que se trata, está sumamente definida y acotada.



A continuación se hace una pequeña descripción de algunos de los grandes problemas existentes para la construcción de sistemas expertos en la solución de problemas basados en el conocimiento, y las técnicas que se han empleado para superarlos.

## 5. SISTEMAS DE DIAGNÓSTICO BASADOS EN REGLAS CON RAZONAMIENTO A PARTIR DE DATOS Y CONOCIMIENTOS INCIERTOS.

En este caso se toman como ejemplo dos sistemas expertos existentes: **MYCIN** (diagnóstico y tratamiento de enfermedades infecciosas) y **PROSPECTOR** (evaluación de lugares para identificar la presencia de yacimientos, evaluación de recursos geológicos y selección de lugares para perforación), los cuales operan sobre bases bien organizadas de conocimiento. La arquitectura de los mismos se basa en los métodos de los sistemas de producción y se compone de:

- Una colección de hechos.
- Un conjunto de reglas de producción.
- Un generador de inferencias con encadenamiento hacia adelante o hacia atrás.
- Un mecanismo que realiza inferencias a partir de evidencias inciertas o incompletas.

En ambos casos se utilizan probabilidades relacionadas con las reglas. En el caso de MYCIN, se asigna un “factor de certidumbre” a cada regla de producción. De la misma forma, en PROSPECTOR se habla de “espacios” conectados por reglas que tienen asociada una cierta probabilidad o certidumbre.

Probablemente la característica más importante de MYCIN sea que no propone un sólo diagnóstico ni da la certidumbre exacta de que ese diagnóstico sea cierto, sino que llega a un conjunto de diagnósticos, cada uno de ellos con una especie de “puntuación” asociada. Lo que se presenta al usuario es una lista de posibilidades.

El método que usa PROSPECTOR consiste en una aplicación de la fórmula de Bayes para evaluar las probabilidades a priori y a posteriori de que ocurra cierto suceso. Esquemáticamente, cada hipótesis comienza con una probabilidad a priori de ser cierta, la cual va variando a medida que se van presentando evidencias al sistema. El cálculo de estas probabilidades se realiza mediante la aplicación del Teorema de Bayes. En general, las reglas de PROSPECTOR son todas de la forma IF...THEN...(MS, MN) - donde MS indica Medida de Suficiencia y MN Medida de Necesidad -, de modo que con cada regla se ha establecido un cociente de verosimilitud para la respuesta positiva y otro para la respuesta negativa. Estos cocientes tienen su origen en la mente de los prospectores expertos humanos. Los diseñadores del sistema le preguntan a los expertos cosas como: “si hubiese oro en las colinas, ¿en cuánto estima usted la probabilidad de que se encuentren grandes trozos de oro?, y, si no lo hubiese, ¿en cuánto estima la probabilidad de no encontrar tales trozos?”.

Ambos sistemas adolecen de algunos problemas, como ser:

- Las estructuras causales o taxonómicas que pudieran existir dentro del conocimiento codificado en las reglas de producción no están representadas explícitamente, por lo cual no son ni visibles al usuario ni directamente accesibles al procesamiento. Esto produce dificultades en la comprensión de las conclusiones y en la depuración o desarrollo de la base de conocimientos.
- No se intenta modelar los procesos de razonamiento que adoptan actualmente los expertos humanos. La consecuencia más importante de esto es que puede resultar difícil para el usuario identificar la secuencia de operaciones realizadas por el sistema para llegar a la solución.

### Aproximaciones asociativa y causal al diagnóstico.

El sistema **INTERNIST** pretende dar un modelo del razonamiento de los médicos clínicos, y también dar el diagnóstico exacto en situaciones complejas donde se presenta más de una enfermedad. Se utiliza una representación de red asociativa, donde las enfermedades se relacionan con los síntomas, indicándose esto mediante diferentes tipos de conexión asociativa. El proceso consiste de dos etapas en el que las “manifestaciones” específicas de la enfermedad se enlazan a enfermedades. Las dos etapas son:

- Estructuración de un problema de diagnóstico, incluyendo una elección entre un conjunto de hipótesis de enfermedad mutuamente exclusivas (modelo de diagnóstico diferencial).
- Aplicación de alguna estrategia para resolver el problema de diagnóstico mediante la identificación de una enfermedad, a partir del conjunto que mejor se ajuste a las manifestaciones.

INTERNIST representa las enfermedades en un árbol jerárquicamente organizado. Las enfermedades se enlazan mediante la relación “formada por” y se organizan en un árbol de clasificación inicial basado en los órganos.

Las enfermedades están relacionadas con sus manifestaciones, por medio de dos relaciones adicionales: “evoca” y “manifiesta”. La fuerza de cada relación puede considerarse como una probabilidad. Al introducirse en el sistema las manifestaciones iniciales, se crea un “modelo de enfermedad” para cada uno de los nodos de enfermedad evocados. Estos modelos se usan luego para construir una tarea de diagnóstico diferencial.

La característica fundamental de este sistema es que sigue la estrategia de construir y resolver diagnósicos diferenciales utilizada por los clínicos humanos.

El sistema **CASNET** modela el problema mediante una red semántica en la que los nodos son los estados del sistema y los arcos representan relaciones causales. CASNET visualiza la enfermedad como un proceso dinámico que incluye transformaciones entre estados fisiopatológicos.

Este sistema fue desarrollado originalmente para el diagnóstico y tratamiento del GLAUCOMA. El modelo clínico básico se compone de cuatro “planos de conocimiento”, tres de los cuales describen la enfermedad y uno los planes de tratamiento. En el centro del modelo se encuentra una descripción de los “estados fisiopatológicos”, representada mediante una red semántica en que los nodos indican los estados y los arcos las conexiones causales entre ellos. Una trayectoria completa desde un estado inicial a uno terminal representa, normalmente, un proceso completo de la enfermedad. Cada relación causal tiene asociado un factor de confianza.

La estrategia general de diagnóstico de CASNET se puede resumir en términos de una serie de transformaciones: los resultados de las pruebas y observaciones se relacionan con los estados fisiopatológicos individuales según se reciben; los estados así confirmados o denegados se organizan en caminos inferidos a partir de la red de estados; estos caminos se relacionan con las tablas de clasificación que contienen las categorías de diagnóstico; las categorías de enfermedad se utilizan como base para seleccionar los tratamientos. El método de diagnóstico utilizado es estrictamente de “abajo a arriba”, trabajando desde las observaciones a los tratamientos.

La característica diferencial más importante que se puede notar con respecto a los métodos anteriores, es el mapeo explícito del tiempo en el modelo.

### **Reducción de grandes espacios de búsqueda mediante “podas”.**

Una de las formas de resolver problemas en Inteligencia Artificial es la “búsqueda en espacios de estados”. En este caso la resolución de problemas implica una búsqueda a través de una red de nodos, donde cada uno representa un posible estado del problema. En cualquier dominio del mundo real, el espacio de estados puede llegar a ser muy grande, haciendo difícil (e incluso imposible) el obtener soluciones mediante una búsqueda exhaustiva en el mismo. Se hace entonces necesario controlar la búsqueda de forma de poder enfrentar espacios de gran tamaño.

Una de las técnicas utilizada es la llamada “generar y probar”, la cual, comenzando con algún estado inicial, genera un conjunto de estados descendientes. Se aplica a este conjunto una serie de pruebas de validez para reducir su tamaño. Obviamente, este método sólo funciona si, cuando un estado se declara inválido, todos sus descendientes lo son.

Este método fue utilizado por el sistema DENDRAL, cuyo objetivo es el de proporcionar un soporte de ordenador a los químicos profesionales para el análisis de la estructura de compuestos de química orgánica. En este sistema, los estados elegidos se desarrollan generando un árbol solución hasta una determinada profundidad. Después se aplican al árbol las pruebas heurísticas y se toma la decisión sobre si continuar elaborando la rama o “podarla”, interrumpiendo así su posterior propagación.

### **Sistema Experto basado en reglas con mecanismo de inferencia bayesiano.**

En el caso del sistema de diagnóstico de Meningitis, dado que existe mucha información fácilmente disponible o asequible a través del o de los expertos, no es en absoluto necesario construir un sistema que deba aprender de los ejemplos. El único problema que se plantea es que la información no se encuentra en la forma adecuada.

Lo que se trata de construir es un sistema que, a partir de un grupo de síntomas, indique una enfermedad. No interesan en este caso los efectos del transcurso del tiempo sobre la enfermedad, puesto que el sistema debe diagnosticar los casos de Meningitis Aguda que se presentan a la Emergencia o a la consulta en Policlínica. Se utilizan entonces las ideas recogidas de sistemas tales como PROSPECTOR y DENDRAL.

Para realizar un sistema de esta naturaleza, resulta adecuado utilizar un mecanismo de inferencia bayesiano, a los efectos de tener en cuenta el hecho de que la mayoría de las informaciones no son en absoluto seguras, sino probabilísticas.

## El teorema de Bayes.

Este teorema establece que:

$$P(M / X) = \frac{P(X / M) * P(M)}{P(X / M) * P(M) + P(X / no M) * P(no M)}$$

sea **M** el suceso “el paciente padece de Meningitis Aguda Supurada” y **X** una combinación particular de síntomas y signos del paciente.

Entonces, la probabilidad “**el paciente tiene meningitis**” dada la combinación de síntomas **X**, es igual a la probabilidad de **X** supuesto que existe la enfermedad, multiplicada por la probabilidad total de existencia de los síntomas **X**, exista o no la enfermedad.

Por estadística, sabemos que

$$P(M / X) = \frac{P(M \cap X)}{P(X)}$$

y

$$P(X / M) = \frac{P(X \cap M)}{P(M)}$$

por lo tanto:

$$P(X \cap M) = P(X / M) * P(M) = P(M / X) * P(X)$$

de donde se obtiene:

$$P(M / X) = \frac{P(X / M) * P(M)}{P(X)} = \frac{P(X / M) * P(M)}{P(X / M) * P(M) + P(X / no M) * P(no M)}$$

## Representación del conocimiento.

De acuerdo al sistema bayesiano que ha sido planteado, el conocimiento deberá ser representado por una serie de reglas que mapeen la relación existente entre las enfermedades y los síntomas. Asimismo, cada regla tendrá asociadas las probabilidades correspondientes, como se detalla más adelante.

Las reglas podrían ser del tipo **SINTOMA → ENFERMEDAD** pero, y de acuerdo con lo expresado por el experto, es bastante difícil calcular la probabilidad de que un paciente padezca de meningitis dado que presenta un síntoma tan genérico como la alta temperatura o convulsiones. Parece ser más adecuado plantear las reglas a la inversa, y realizar un sistema que infiera “hacia atrás”. Es decir, se plantean reglas del tipo **ENFERMEDAD → SINTOMA**, es decir, “**tal enfermedad presenta habitualmente tales evidencias sintomáticas**”. A esta regla se le deberá asociar, en primera instancia, un **factor de certeza o probabilidad**.

En función de las enfermedades o diagnósticos diferenciales anteriormente definidos, y de los datos indicativos (síntomas, signos y datos de análisis de laboratorio), **la base de conocimientos tendrá entonces dos partes**: una para las enfermedades (nos reducimos en este trabajo a las meningitis y sus diagnósticos diferenciales, de acuerdo a la información aportada por el experto); y otra para los datos indicativos.

La base de datos de datos indicativos tendrá la siguiente estructura:

**CODIGO DE SINTOMA / DESCRIPCION DE SINTOMA**

donde CODIGO DE SINTOMA es un código único asignado a cada dato indicativo;

y la base de datos de enfermedades la siguiente:

**CODIGO DE ENFERMEDAD / DESC. ENFERMEDAD / PI / {CODIGO DE SINTOMA/ PS / PN}**

donde:

**CODIGO DE ENFERMEDAD** indica un código único asignado a cada enfermedad

**PI** es la probabilidad de que un paciente que concurre al centro asistencial tenga la enfermedad, en ausencia de toda otra información. Esta probabilidad se calcula junto con el experto en función de datos estadísticos nacionales y de la experiencia del experto.

**{CODIGO DE SINTOMA / PS / PN}** indica una cantidad mayor que 0 de registros del tipo:

#### CODIGO DE SINTOMA / PS / PN

donde:

- **PS** es la probabilidad de que se presente este dato indicativo si la enfermedad existe.
- **PN** es la probabilidad de que se presente este dato indicativo si la enfermedad no existe.

Es necesario ingresar ambos valores de las probabilidades, PS y PN, a los efectos de disponer de todos los elementos para aplicar la fórmula de Bayes.

Los datos indicativos han sido listados en el orden y con la agrupación habitualmente utilizados por el experto como método, habiéndosele indicado a éste que tratara de aplicar el método normal para un médico con poca o ninguna experiencia, de forma de tratar de evitar que se saltasen pasos en el procedimiento.

Si bien el sistema así ideado es similar al de PROSPECTOR, es decir, no pretende emular el método de razonamiento del experto, se hace un esfuerzo por aproximarse al mismo, agrupando la verificación de los datos indicativos en la forma que resulta natural para el experto. Este podrá entonces indicar aquéllos datos que más convengan a la situación en particular.

#### Algoritmo de inferencia.

Utilizando las estructuras arriba detalladas, se realiza el cálculo de los diagnósticos más probables aplicando sucesivamente el Teorema de Bayes.

Se puede apreciar en este caso que la probabilidad de cierta hipótesis, dado cierto elemento de evidencia, puede calcularse a partir de la probabilidad a priori de dicha hipótesis (es decir, sin saber nada de la evidencia) y de las probabilidades de que se presente la evidencia, supuesto que la hipótesis es cierta y que es falsa.

Considerando las enfermedades y datos indicativos mencionados, el Teorema de Bayes puede expresarse de la siguiente forma:

$$P(H / E) = \frac{PS * PI}{PS * PI + PN * (1 - PI)}$$

Se comienza haciendo **P(h) = PI** para cada una de las enfermedades. A medida que, mediante diversas preguntas al usuario, el programa va solicitando la información de datos indicativos, se calcula **P(h/e)** de acuerdo a cada uno de estos datos. Cuando un dato indicativo existe (por ello se plantean en la forma indicada), se aplica la fórmula anterior, y cuando no existe se aplica la misma pero sustituyendo PS por (1-PS) y PN por (1-PN). El efecto de cada dato indicativo es entonces el de provocar la sustitución de la probabilidad a priori P(h) por P(h/e).

El proceso continúa de este modo, actualizando continuamente las P(h) de todas las enfermedades, a medida que el usuario ingresa nuevos valores de datos indicativos.

#### 6. RELACIÓN DE ENFERMEDADES CON SÍNTOMAS.

Se ha desarrollado una tabla de relación para cada enfermedad de diagnóstico diferencial. A continuación se muestra solamente un ejemplo, para uno de los casos

##### Meningitis aguda supurada - Meningococo PI = 0,0005

CODIGO DE SINTOMA	DESCRIPCION DEL SINTOMA	PS	PN
1	Fiebre moderada.	0.3	0.5
2	Fiebre elevada.	0.8	0.25
3	Fiebre muy elevada.	0.9	0.10
4	Hipotermia.	0.01	0.01
5	Somnolencia.	0.8	0.01
7	Secreción Nasal.	0.1	0.5
8	Dificultad respiratoria.	0.05	0.15
9	Vómitos.	0.6	0.7
10	Deposiciones líquidas.	0.1	0.25.
11	Estreñimiento.	0.5	0.05
13	Oliguria.	0.1	0.01
15	Piel pálida.	0.7	0.4
16	Piel cianótica.	0.01	0.005
18	Piel fría.	0.01	0.005
19	Síndrome purpúrico de piel.	0.1	0.001
21	Mucosas pálidas.	0.5	0.5

CODIGO DE SINTOMA	DESCRIPCION DEL SINTOMA	PS	PN
22	Síndrome purpúrico de mucosas.	0.1	0.001
23	Mucosas secas.	0.01	0.05
31	Fontanela hipertensa.	0.95	0.002
32	Fontanela deprimida.	0.04	0.05
41	Taquicardia.	0.8	0.5
43	Tonos cardíacos apagados.	0.01	0.001
44	Ruidos sobreagregados.	0.1	0.0001
46	Pulsos periférico finos o ausentes.	0.01	0.01
49	Hipertensión arterial.	0.001	0.002

## 7. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO DE DIAGNÓSTICO DE MENINGITIS.

### Almacenamiento persistente de la base de conocimientos.

Una estructura básica apropiada es:

#### ENFERMEDAD:

COD\_ENF / DESC\_ENF / PI

#### ENF-SINTOMA

COD\_ENF / COD\_SINTOM / PS / PN

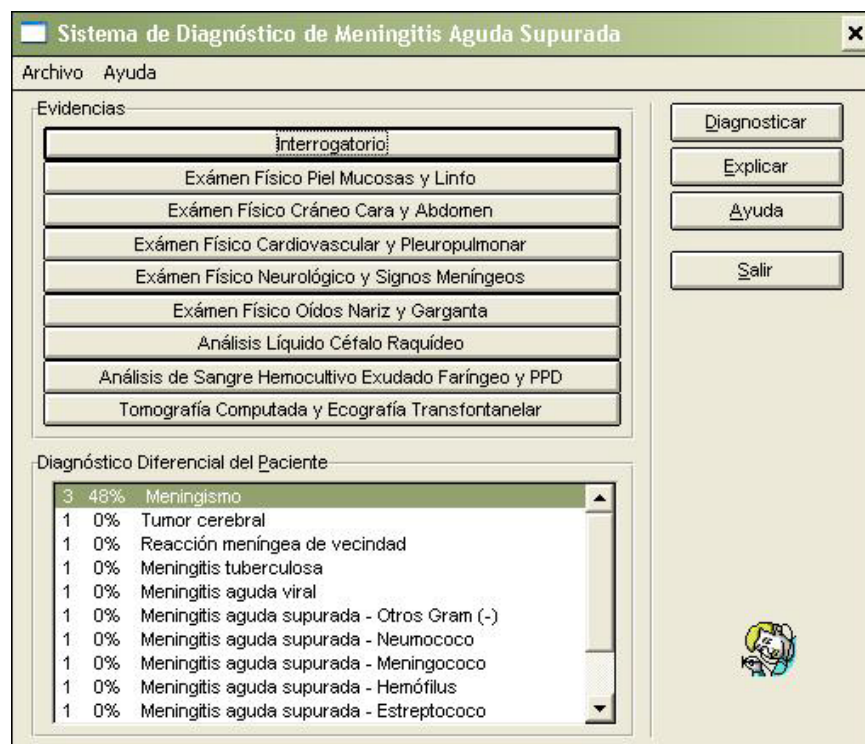
#### SINTOMA

COD\_SINTOM / DESC\_SINTOM

### Estructuras internas.

Internamente, se manejan las enfermedades y los datos indicativos como objetos. Se tiene entonces una colección de objetos “enfermedades”, cada uno de los cuales tiene asociado, a su vez, la probabilidad inicial **PI**, un atributo **Probabilidad Calculada**, sobre el cual se realizará el mecanismo de inferencia, y una **colección de síntomas relevantes**, con sus respectivas probabilidades **PS** y **PN**.

### Interfaz de usuario.



Los grupos identificados de datos indicativos se despliegan al usuario en sendas cajas de diálogo, en el orden en que figuran en la sección correspondiente. Ya a partir del ingreso de los datos de exámenes físicos el usuario puede disparar el mecanismo de inferencia, y lo puede hacer tantas veces como lo desee. Obviamente, a medida que el usuario introduce más información, la capacidad de selectividad del sistema va aumentando. En una ventana informativa se van presentando los principales diagnósticos inferidos, junto con sus probabilidades calculadas, en orden decreciente de estas probabilidades.

**Exámen Físico Neurológico y Signos Meníngeos**

Neurológico:

- ☒ Coma
- ☐ Depresión
- ☐ Letargo
- ☐ Irritabilidad
- ☐ Paresia Facial
- ☐ Parálisis Facial
- ☐ Paresia Sector Espinal
- ☐ Parálisis
- ☐ Hipotonía Muscular
- ☐ Signo de Babinski

Signos Meníngeos:

- ☐ Rigidez de Nuca
- ☐ Rigidez de Tronco
- ☐ Signo de Kernig
- ☐ Signo de Brudzinsky

Acepta Cancela

**Examen Físico Cardiovascular y Pleuropulmonar**

Cardiovascular:

- ☒ Taquicardia
- ☐ Tonos cardíacos apagados
- ☐ Pulso fino o ausente
- ☐ Hipotensión arterial
- ☐ Polipnea

Pleuropulmonar:

- ☐ Quejido respiratorio
- ☐ Sonoridad disminuida
- ☐ Murmullo av disminuido
- ☐ Estertores húmedos
- ☐ Soplo tubario
- ☐ Soplo pleural

Acepta Cancela

**Análisis de Sangre Hemocultivo Exudado Faríngeo y PPD**

Análisis de Sangre:

- ☒ Leucocitosis Aumentada
- ☐ Leucocitosis Disminuida
- ☐ Hemoglobina Disminuida
- ☐ Hematocrito Disminuido
- ☒ Leucocitos Segmentados Aumentados
- ☒ Leucocitos Cayados Aumentados
- ☐ Linfocitos Aumentados
- ☒ VES Aumentada
- ☒ Proteína C-Reactiva Positiva

Hemocultivo:

- ☐ Meningococo
- ☒ Neumococo
- ☐ Hemófilus
- ☐ Estreptococo
- ☐ Otras Bacterias

Exudado Faríngeo:

- ☐ Estreptococo
- ☐ Otras Bacterias

Tuberculosis:

- ☐ PPD

Acepta Cancela

**Líquido Céfalo Raquídeo**

Líquido Céfalo Raquídeo:

- ☒ Aspecto Turbio
- ☐ Aspecto Cristalino
- ☐ Aspecto Hemorrágico
- ☐ Glucosa Disminuida
- ☐ Reacción de Pandy Positiva
- ☐ Proteínas Aumentadas
- ☐ Glóbulos Rojos Presentes
- ☐ Glóbulos Blancos Aumentados
- ☐ Meningococo Presente
- ☐ Neumococo Presente
- ☐ Hemófilus Presente
- ☐ Estreptococo
- ☐ Otras Bacterias
- ☐ Bacilo de Koch Presente

Acepta Cancela

## 8. EXPLICACION

El sistema es capaz de explicar d qué forma ha determinado el diagnóstico diferencial seleccionado, presentando una lista de los diagnósticos diferenciales o enfermedades considerados y una lista de evidencias relacionadas con cada enfermedad.

En la lista de síntomas se listan todos los síntomas relativos a la enfermedad seleccionada, sus códigos y sus probabilidades de existir dado que existe la enfermedad. Estos síntomas se listan en orden inverso de probabilidad, es decir, de mayor a menor, ya que éste es el orden en que son considerados por el motor de inferencia

**Explicación de Inferencia**

Algoritmo:

Los diagnósticos se obtienen aplicando iterativamente el Teorema de Bayes, comenzando con la probabilidad inicial para la enfermedad, y recorriendo todos los síntomas relacionados. Básicamente, cada síntoma agrega o quita peso a una determinada enfermedad, de acuerdo a las probabilidades asignadas en la Base de Conocimientos. Esta Base de Conocimientos es un archivo llamado

Enfermedades	Codigo	Probabilidad Si	Sintoma
Meningitis aguda supurada - Mening	103	0.9900	Glóbulos Blancos aumentados LCR
Meningitis aguda supurada - Neumc	99	0.9900	Glucosa disminuida o indosificable
Meningitis aguda supurada - Hemóf	101	0.9800	Proteínas aumentadas LCR
Meningitis aguda supurada - Estrep	100	0.9800	Reacción de Pandy positiva LCR
Meningitis aguda supurada - Otros	114	0.9500	Leucocitos segmentados aumentados
Meningitis aguda viral	96	0.9500	Aspecto turbio LCR
Meningitis tuberculosa	31	0.9500	Fontanela hipertensa
Encefalitis	1	0.9000	Fiebre
Absceso cerebral	120	0.8000	Proteína C-Reactiva positiva
Meningismo	119	0.8000	Velocidad de eritro - sedimentación aume

Cerrar

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Clínica pediátrica, Tomos II y IV, Ramón Carlos Negro, Irma Gentile - Ramos, Juan José Mila, Editorial Delta, Uruguay, 1983.
2. Temas de Pediatría, Rodolfo Maggi, Librería Médica Editorial, Uruguay, 1985.
3. Nelson Tratado de Pediatría, Volumen II, R.E. Behrman y V.C. Vaughan, Nueva Editorial Interamericana, México, 1999.
4. Sistemas Expertos: Conceptos y Ejemplos, J.L. Alty y M.J. Coombs, Editorial Diaz de Los Santos, España, 1983.
5. Krugman Enfermedades infecciosas pediátricas, Samuel L. Katz, Anne A. Gershon, Peter J. Hotez, Editorial Mosby-Yearbook/Harcourt España 1999
6. Urgencias en pediatría, Roger M. Barkin y Peter Rosen, Mosby/Doyma España 1996
7. Inteligencia Artificial: conceptos y programas, Tim Hartnell, Anaya Multimedia, España, 1984.
8. Build your own expert system, Naylor, Diaz de los Santos, España, 1986.
9. Pediatría, urgencias y emergencias, Osvaldo Bello, Graciela Sehabiague, Javier Prego, Daniel Deleonardis, Bibliomédica Ediciones, Uruguay 2002