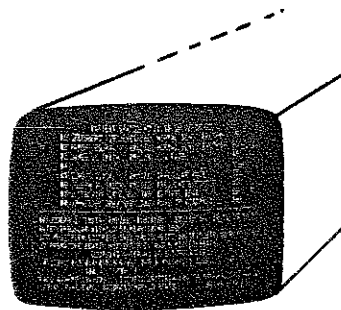
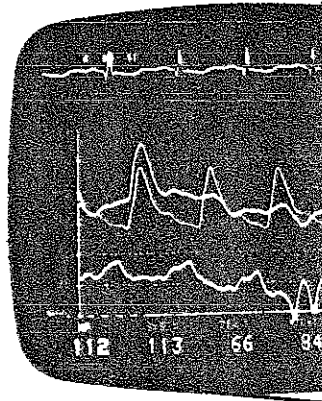


III SIMPOSI  
DE INGEN

AL

PROCEEDINGS



ACTAS

MA

III Simp. Int. Ing. Biomed.  
Madrid 7-9 Octubre 1987.

**PNEUMON-IA: DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO MEDICO  
USANDO LOGICA DIFUSA**

F. Sanz \*, R. López de Mántaras \*\*, A. Verdaguer \*, C. Sierra \*\*.

\* Dep. de Metodologia i Informàtica. Institut Municipal d'Investigació Mèdica. Facultat de Medicina (U.A.B.) Ps. Maritim, 25 E-08003 Barcelona. Spain.

\*\* Centre d'Estudis Avançats de Blanes. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. E-17300 Blanes (Girona). Spain.

**Resumen.** - Este trabajo describe PNEUMON-IA, un Sistema Experto para el diagnóstico y tratamiento de las neumonías, y MILORD el entorno en el cual se ha construido PNEUMON-IA. MILORD está basado en la lógica difusa, modelizando la incertidumbre mediante términos lingüísticos y operaciones básicas entre ellos. La Base de Conocimientos está estructurada de forma modular. Cada módulo incluye un conjunto de reglas de producción. Existen también metarreglas que gobiernan la aplicación de los módulos y de sus reglas. Las reglas se aplican mediante un proceso de encadenamiento hacia atrás y las metarreglas mediante encadenamiento hacia adelante. Actualmente, PNEUMON-IA consta de más de 600 reglas de producción y 100 metarreglas que cubren el diagnóstico.

**INTRODUCCION**

Muchos de los modelos utilizados hasta ahora en la ayuda a la decisión médica se han basado en las teorías de la decisión y en métodos probabilísticos y estadísticos (Vicens et al. 1987). Estos modelos son de difícil utilización cuando, como sucede a menudo, no se dispone de datos estadísticos exhaustivos sobre síntomas, diagnósticos y tratamientos.

La Inteligencia Artificial (I.A.) representa una nueva aproximación a los problemas de decisión, simulando el razonamiento médico y su imprecisión. Para ello son necesarios nuevos modelos lógicos que superen las limitaciones de la lógica clásica, como, por ejemplo, lógicas modales, lógicas temporales o lógicas difusas (Zadeh 1983).

La incertidumbre del razonamiento médico proviene de la calidad de la información recogida, de la complejidad de la situación y de la presencia de información incompleta, y a pesar de ello los médicos son capaces de tomar decisiones. Resulta, por tanto, imprescindible que todo sistema de I.A. que intente modelizar dicho razonamiento posea herramientas de representación de la incertidumbre y la imprecisión. MILORD (Motores de Inferencia con Lógica del Razonamiento Difuso) es un sistema que posee este tipo de útiles como forma esencial de funcionamiento, y sobre él se ha diseñado PNEUMON-IA, un Sistema Experto (S.E.) para el diagnóstico y tratamiento de las neumonías.

Los S.E. han de ser considerados instrumentos de ayuda en la toma de decisiones por parte de los médicos, imitando el razonamiento de un experto, explicando las decisiones propuestas y permitiendo su evaluación por otros expertos.

Las neumonías son enfermedades agudas que precisan de un diagnóstico relativamente rápido para poder efectuar el tratamiento más idóneo. En la mayoría de las ocasiones el médico no dispone concomitantemente de datos microbiológicos que le permitan determinar con certeza una determinada etiología. Además, el porcentaje de neumonías cuyos agentes causales no se consiguen determinar a posteriori es relativamente alto, siendo alrededor del 40% en las neumonías extrahospitalarias (MacFarlane et al. 1982) (Almirante et al. 1985) (Marrie et al. 1987). A pesar de ello, y con una aproximación diagnóstica más o menos precisa, el médico debe decidir un determinado tratamiento para el paciente. Todo ello aconseja el desarrollo de un S.E. en este campo, el cual posea herramientas que le permitan solucionar estas problemáticas.

**DESCRIPCION DEL MOTOR DE INFERENCIAS**

MILORD es un sistema que permite representar el conocimiento incierto. Esta incertidumbre es expresada mediante términos lingüísticos habitualmente utilizados por el experto que diseña la

Base de Conocimientos (Bonissone 1979) (Bonissone y Decker 1985). Estos términos poseen una realidad lógica que supera la extensión de este artículo (López de Mántaras et al. 1986) (Godo et al. 1987). Someramente, los términos representan distribuciones de posibilidad sobre las que se aplican los operadores lógicos que modelizan los conectivos lógicos necesarios para realizar las inferencias. Estos operadores son denominados t-normas o t-conormas según representen la conjunción o la disyunción (Aisina et al. 1983). Los operadores son seleccionados por el experto, representando cada pareja de ellos formas de razonamiento diversas. En el caso de PNEUMON-IA se han seleccionado los siguientes operadores:

$$t(a,b) = a*b \quad \text{para la conjunción}$$

$$s(a,b) = a+b-a*b \quad \text{para la disyunción}$$

con la negación dual en el sentido de De Morgan:  $N(x) = 1-x$ .

El conjunto de términos lingüísticos utilizado es el siguiente:

0. IMPOSSIBLE	(0,0,0,0)
1. ALMOST IMPOSS.	(0,0,0.05,0.08)
2. SLIGHTLY POSS.	(0.05,0.07,0.14,0.17)
3. MODERATELY POSS.	(0.1,0.15,0.35,0.45)
4. POSSIBLE	(0.25,0.35,0.55,0.65)
5. QUITE POSSIBLE	(0.45,0.55,0.75,0.85)
6. VERY POSSIBLE	(0.65,0.75,1,1)
7. ALMOST SURE	(0.95,0.98,1,1)
8. SURE	(1,1,1,1)

Los cuatro valores representan las abscisas de las distribuciones de posibilidad en forma trapezoidal que se pueden ver en la figura 1.

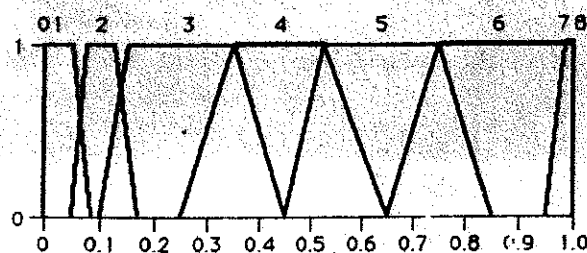


Figura 1. Distribuciones de posibilidad de términos lingüísticos.

A partir de dicho conjunto de etiquetas, de los operadores definidos y de un proceso de aproximación lingüística se construyen matrices que representan los conectivos lógicos entre términos. La inferencia realizada por el sistema accederá a estas matrices para obtener los valores de certeza de las conclusiones. Esta representación hace que el sistema posea una forma de expresar la certeza y sus relaciones en un formato comprensible por el médico, así como eficiente desde el punto de vista computacional.

#### BASE DE CONOCIMIENTOS DE PNEUMON-IA

La Base de Conocimientos (B.C.) de PNEUMON-IA refleja los pasos del razonamiento médico. Así, la B.C. consta de dos contextos: diagnóstico y tratamiento. Ambos se estructuran en módulos que representan unidades elementales en el diagnóstico o tratamiento.

#### Módulos

Un módulo es una estructura de representación que contiene como componentes un conjunto de reglas de producción referentes a unos determinados objetivos o subobjetivos de éstos, un conjunto de metarreglas relativas a la aplicabilidad de las reglas del módulo y una lista de los objetivos perseguidos.

El contexto diagnóstico contiene un módulo que incluye la Historia Clínica del paciente, así como datos de laboratorio, radiológicos y microbiológicos de interés. El resto de módulos corresponde a los diagnósticos etiológicos de las neumonías adquiridas en la comunidad más frecuentes en adultos. Cada uno de estos módulos se halla formado por diferentes reglas que permiten concluir un diagnóstico con una determinada certeza.

La aplicación de las reglas se basa en diferentes heurísticas inherentes a MILORD así como a metarreglas explicitadas en dicho módulo. Existe un módulo especial, compuesto únicamente por metarreglas, cuya misión es determinar la estrategia global de aplicación de los diferentes módulos de un contexto. En la estrategia inicial, el módulo que contiene la Historia Clínica y las exploraciones complementarias aparece en primer lugar. El contexto de tratamiento está en fase de desarrollo, por lo que no se describe en el presente trabajo.

MILORD dispone de dos motores de inferencia, uno con encadenamiento hacia adelante y otro con encadenamiento hacia atrás. Las metarreglas se ejecutan con el motor hacia adelante, dado que una metarregla sólo es activada cuando se dispone de la información para hacerlo, nunca se fuerza la verificación de sus premisas. Las reglas, en cambio, van dirigidas por los diagnósticos, es decir, es la verificación de las conclusiones la que fuerza su evaluación, siendo lícito el intentar validar las premisas de las mismas mediante otras reglas o bien recabando información del usuario, por lo que para su evaluación se utiliza el motor hacia atrás.

Los módulos diagnósticos que posee PNEUMON-IA son los siguientes:

BACTERIANA-ATIPICA  
 NEUMOCOCO  
 OTROS ESTREPTOCOCOS  
 ENTEROBACTERIAS  
 HEMOFILUS  
 ESTAFILOCOCO DORADO  
 LEGIONELA  
 ANAEROBIOS  
 PSEUDOMONAS  
 BRANHAMELLA  
 MENINGOCOCO  
 TUBERCULOSIS  
 NOCARDIA  
 ASPERGILUS  
 P. CARINII  
 MICOPLASMA  
 CLAMIDIA P.  
 FIEBRE Q.  
 VIRUS  
 VIRICAS COMPLICADAS

Estos módulos cubren la práctica totalidad de los diagnósticos etiológicos de las neumonías.

En el módulo BACTERIANA-ATIPICA se realiza una clasificación bipolar que permite diferenciar inicialmente y de forma aproximada los diversos tipos de neumonía. Ello se realiza en base a datos semiológicos y a exploraciones complementarias relativamente simples. Además de esta clasificación inicial, los antecedentes personales y patológicos del paciente permiten establecer una estrategia en la aplicación del resto de los módulos. Cada uno de los módulos restantes contiene conocimiento médico estructurado acerca de uno o varios agentes etiológicos en forma de reglas de producción fundamentadas en datos epidemiológicos, microbiológicos, radiológicos y en otras exploraciones complementarias. La certeza en la orientación etiológica que se obtiene a partir de la historia clínica y exploración física del paciente se modifica en el mismo módulo mediante reglas de refinamiento que contienen los conocimientos analíticos, radiológicos y microbiológicos referentes al agente en cuestión.

#### Reglas de producción

Las reglas que forman los módulos anteriormente mencionados poseen como condición conjunciones de hechos de naturaleza booleana, numérica, difusa o enumerada. La evaluación de las premisas de una regla tiene como resultado un término lingüístico dentro del conjunto de términos lingüísticos definidos por el experto. Este término junto con el término que representa la certeza del experto en la regla aplicada proporcionan la certeza en la conclusión (Trillas y Valverde 1987). Las aportaciones de certeza a una conclusión por parte de diferentes reglas son a su vez combinadas, utilizando una t-norma, para obtener la certeza final de la conclusión.

Las reglas están en cada momento activas o inhibidas. El estado inicial de una regla viene determinado por la definición de la B.C., el estado ulterior puede ser modificado por las metarreglas del sistema.

El orden de aplicación de las reglas viene determinado por diferentes criterios: especificidad, mayor certeza y su ordenación según criterio del experto. De acuerdo con estos criterios se aplicarán primero las reglas más específicas. Los criterios de especificidad son los de inclusión, mayor prioridad y subsunción. Como segundo criterio de prioridad se aplicarán primero las reglas con un factor de certeza superior. Finalmente, en casos en que la prioridad no quedara ya establecida se utilizaría el orden proporcionado por el experto. La ordenación de las reglas según su mayor especificidad es útil en el desarrollo de B.C. El conocimiento incompleto puede modelizarse comodamente utilizando este mecanismo, dado que si consideramos el conjunto de reglas que deducen un hecho concreto, se intentará siempre aplicar la regla más específica, es decir, la regla que necesita mayor cantidad de conocimiento para ser aplicada. En caso de que la regla más específica sea aplicada, todas las reglas que guardaban alguna relación con ella según los criterios de especificidad, dejan de formar parte del conjunto de reglas a evaluar.

Veamos ahora un ejemplo de regla de producción:

SI

LA NEUMONIA ES BACTERIANA  
 Y EXISTE EXPECTORACION  
 Y EL ESPUTO ES HERRUMBROSO  
 Y LA NEUMONIA NO SE HALLA CAVITADA  
 Y EL PACIENTE NO PRESENTA  
 INMUNODEPRESION

ENTONCES

ES MUY POSIBLE QUE LA NEUMONIA SEA  
 NEUMOCOCICA

Para ayudar al proceso de explicación del razonamiento, cuando una regla contiene conocimiento de tipo universal se permite que posea una justificación bibliográfica.

#### Hechos

Los hechos son los eventos elementales que, o bien son directamente observables como fiebre, coma, expectoración, etc., o bien son deducibles a partir de otros como neumonía bacteriana, derrame complicado, etc. Los hechos están definidos en un diccionario en el que se incluye información referente a la interacción con el usuario: pregunta asociada y nombre del hecho, y a su relación con el resto de hechos, que

permite tratarlos como elementos pertenecientes a clases tales como datos de laboratorio, sintomatología, etc. Esta información es utilizada para la definición de una red semántica. Los hechos que forman parte de una premisa, pueden ir predicados, en el caso de los hechos numéricos, con operadores relacionales, en el caso de enumerados, mediante operadores de conjuntos, y en el caso de hechos difusos, con predicados que poseen el mismo nombre que las etiquetas lingüísticas y que representan un límite que la certeza del hecho debe superar para que la premisa sea considerada cierta. Los diferentes términos lingüísticos resultantes de la evaluación de las premisas de una regla son combinados mediante una t-norma que proporciona el valor final de certeza de la condición.

#### Metarreglas

El establecimiento precoz de hipótesis diagnósticas y la adopción de una estrategia determinada para orientar un diagnóstico y posteriormente un tratamiento, es básica en el comportamiento del experto médico (Cercenado y Bouza 1987). La estrategia en la aplicación de los diferentes módulos viene explicitada en las metarreglas del sistema. Por ser este establecimiento un proceso inicial, las metarreglas que contienen conclusiones que afectan a la estrategia se activan una vez han finalizado los dos módulos iniciales: el de Historia Clínica y exploraciones complementarias y el de Bacteriana-Atípica.

Las metarreglas que establecen la estrategia indican qué módulos y en qué orden se van a aplicar en un caso determinado. Esto no representa únicamente una mejora en la eficiencia del sistema sino que incide directamente en la inteligibilidad del proceso, en su capacidad docente, en la decisión del tipo de exploraciones complementarias que se deben practicar y en su rentabilidad. En cualquier momento del proceso, la obtención de un nuevo hecho de suficiente interés puede cambiar una determinada estrategia mediante la activación de la metarregla correspondiente.

Existen otras metarreglas que afectan a todas las reglas que contienen premisas pertenecientes a una misma clase de la red semántica. Estas reglas pueden ser inhibidas o activadas.

Veamos un ejemplo de metarregla en el que ante la falta de datos por el estado del paciente el sistema inhibe todas las reglas que necesitan de estos datos para ser aplicadas, con lo que se obtiene un incremento en la eficiencia del sistema.

SI

EL PACIENTE ESTA EN COMA  
Y NO SE PUEDEN OBTENER DATOS DE SU  
HISTORIA CLINICA

ENTONCES

INHIBIR LAS REGLAS DE PRODUCCION CUYAS  
PREMISAS ESTEN INCLUIDAS EN LAS CLASES:  
\*FACTORES DE RIESGO  
\*ANTECEDENTES PERSONALES Y PATOLOGICOS  
\*SINTOMATOLOGIA

#### CONCLUSIONES

Se está desarrollando un S.E. para el diagnóstico y tratamiento de las neumonías. En la actualidad el Sistema posee más de 600 reglas y 100 metarreglas que cubren un elevado porcentaje de las causas de neumonías extrahospitalarias. Actualmente el trabajo se orienta a las reglas relativas al tratamiento y a la mejora de la comunicación con el usuario.

PNEUMON-IA, a pesar de estar situado en el marco de la lógica difusa, de poseer una estructura compleja en base a módulos y metarreglas, y no haber finalizado su desarrollo, presenta ya una interficie de comunicación con el usuario de tipo interactivo, mediante menús que hacen sencillo su uso e interpretación de resultados, incluso para los no expertos en este tipo de herramientas.

El sistema está siendo desarrollado en COMMONLISP sobre ordenadores VAX (DEC) con Sistemas Operativo VMS.

#### APENDICE A

Como ejemplo de diálogo que se establece con el usuario, se incluyen algunos fragmentos del proceso, finalizando con una sugerencia diagnóstica.

Pregunta: ¿Existen antecedentes personales o patológicos a destacar?  
Respuesta: No

.....  
.....

P: ¿La tos es productiva?  
R: Si

P: ¿El esputo es: mucoso, purulento, herrumbroso, hemoptóico o pútrido?  
R: Herrumbroso

.....  
.....

P: ¿Se observa broncograma aéreo en la imagen radiológica?  
R: Si



P: La distribución del infiltrado es:  
lobar, segmentaria, bronconeumónica,  
difusa, nodular única, nodular múltiple?  
R: Lobar

[Con esta información se aplicaría la  
regla del primer ejemplo]

Los diagnósticos finales son:

- Neumonía neumocócica **MUY POSIBLE**
- Neumonía por legionela **POCO POSIBLE**
- Neumonía por micoplasma **POCO POSIBLE**

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado  
parcialmente mediante la ayuda FISSS  
87/1387 y un Research Agreement con DEC.

#### BIBLIOGRAFIA

Almirante B, Pahissa A, Planes AM et al.  
(1985). Etiología de las neumonías  
extrahospitalarias. *Med Clin* 85: 175-178

Alsina C, Trillas E, Valverde L (1983).  
On some Logical Connectives for Fuzzy  
Set Theory. *J Mathem Anal Aplic* 93:  
15-26.

Bonissone P (1979). The Problem of  
Linguistic Approximation in System  
Analysis. PhD Dissertation. EECSS  
Departement. UC Berkeley. University  
Microfilms International Publications  
#80-14,618, Ann Arbor, Michigan.

Bonissone P, Decker K (1985). Selecting  
Uncertainty and Granularity: An  
Experiment in Trading-off Precision and  
Complexity. KBS Working Paper, General  
Electric, Schenectady, New York.

Cercenado E, Bouza E (1987). Neumonía  
extrahospitalaria y eritromicina. *Enf  
Inf y Microbiol Clin* 5: 129-134.

Godo L, López de Mántaras R, Sierra C,  
Verdaguer A (1987). Managing  
Linguistically Expressed Uncertainty in  
MILORD-Application to Medical Diagnosis.  
7th International Workshop in Expert  
Systems and their Applications. Avignon.  
1:571-596.

López de Mántaras et al. (1986). MILORD:  
An Expert Systems Building Tool with  
Approximated Reasoning. In *Fuzzy Logic  
in Knowledge Engeneering*. Negoita &  
Prade eds. TUV Verlag.

MacFarlane JT, Finch RG, Ward MJ et al.  
(1982). Hospital Study of Adult  
Community Acquired Pneumonia. *Lancet* 2:  
255-258.

Marrie TJ, Grayston JT, Wang S, Kuo C.  
(1987). Pneumonia Associated with the  
TWAR Strain of Chlamydia. *Ann Int Med*  
106: 507-511.

Trillas E, Valverde L (1985). On Mode  
and Implication in Approximate  
Reasoning. In *Approximate Reasoning in  
Expert Systems*. Gupta et al eds. North  
Holland.

Vicens JM, Cortés R, Barceló A, Obrador  
A (1987). Métodos probabilísticos de  
ayuda al diagnóstico. *JANO* 31(756):  
2407-2416.

Zadeh L. (1983) The Role of Fuzzy Logic  
in the Management of Uncertainty in  
Expert Systems. *Int J Fuzzy Sets and  
Systems* 11: 199-227.

#### SUMMARY

This work describes PNEUMON-IA, an  
Expert System in diagnosis and treatment  
of pneumoniae, and MILORD, the  
environment where it has been  
developped. MILORD is based on fuzzy  
logic, and modelizes the uncertainty  
with linguistic terms. MILORD also  
defines some basic operations between  
the linguistic terms. The Knowledge Base  
is structured in a modular way. Each  
module includes a set of production  
rules, and metarules that drive the  
application of modules and/or their  
rules. The rules are applied following a  
backward chaining process and the  
metarules are applied following a  
forward chaining one. At present,  
PNEUMON-IA includes more than 600  
production rules and 100 metarules that  
cover the diagnostic aspects.