

Una Metodología de Adquisición de Conocimiento para Sistemas Expertos de Diagnóstico Médico

Enrique Hinojosa, Pedro Hepp, Jorge A. González, Julián Mardones

Departamento de Ciencia de la Computación, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Casilla 6177 (143) Santiago 22, Chile.

Fax: (56-2) 5524054

E-mail: phepp@dcc.puc.cl

Resumen

En este trabajo se presenta una metodología de adquisición de conocimiento para sistemas expertos sobre un dominio acotado, i. e. diagnóstico médico. La metodología tiene su origen en el modelo Pizarrón [21] y se basa en la evidencia empírica del proceso de diagnóstico diferencial que los médicos aplican, la cual es modelada como etapas del proceso de adquisición. Se propone una estructuración jerárquica del diagnóstico diferencial que el médico realiza y el análisis posterior de cada una de las etapas definidas.

Luego, se presenta un ejemplo real de aplicación de la metodología de adquisición, donde se concluye que los aportes son: abstracción en el proceso de resolución, independencia en cada etapa definida y flexibilidad en la etapa de formalización de cada uno.

1. Introducción

Los Sistemas Expertos (SE) han demostrado ser una alternativa efectiva para solucionar problemas en los que no existen algoritmos eficientes de solución pero son tratables utilizando conocimiento heurístico¹. En el área médica éstos han sido de gran utilidad para resolver muchos problemas de diagnóstico, entre otros, se pueden citar los siguientes: MYCIN [25], CASNET [31], PUFF (referido en [22]), TEIRESIAS [4], MEDAS [11], ONCOCIN [26], INTERNIST [23], CADUCEUS [23], GLADYS [28], CASEY [16]. Cada uno de estos sistemas soluciona, bien o mal, un problema de diagnóstico en el dominio de medicina. El hecho de existir varias experiencias en el diagnóstico médico permite considerarlos como una clase de SE.

Esta clase nace de la existencia de un factor común, cual es: el experto asociado siempre es un médico. Es decir, se basan en un modelo de razonamiento del experto que es similar en todos los casos ya que lo provee la formación propia del estudiante de medicina y la práctica de la profesión. Este factor tiene relevancia en el proceso de construcción del sistema experto y no en la implementación del mecanismo de resolución del problema de diagnóstico médico, ya que algunos están basados en métodos estadísticos (MEDAS), otros en reglas (MYCIN,

¹ Conocimiento heurístico es aquél adquirido en general por la experiencia.

ONCOCIN, TEIRESIAS), algunos en modelos causales (CASNET), o redes jerárquicas (INTERNIST, CADUCEUS) [28].

El proceso de construcción de un SE involucra, necesariamente, la adquisición del conocimiento (AC) del experto al resolver un problema. En la actualidad, para realizar la AC, no existen metodologías probadas, que permitan obtener conocimiento confiable, útil y completo [11]. Desde un punto de vista empírico, la AC sigue siendo el “cuello de botella” en la construcción de Sistemas Expertos [13] ya que es la etapa que consume más tiempo. Los autores concuerdan en señalar que los enfoques actuales basados en un acercamiento generalista es decir, que abarcan todas las topologías de problemas, no han logrado subsanar dicha dificultad. Además, afirman que es tiempo de pensar en tipos de adquisiciones de conocimiento según la topología del problema [3] [20].

A lo largo del tiempo se distinguen dos tendencias en el proceso de AC: adquisición automática y manual. La adquisición automática, básicamente, utiliza dos métodos: inductivos y estadísticos. Ambos han tenido cierto resultado y en la actualidad se investiga en la combinación de ellos para obtener mejores resultados [18]. En este trabajo nos dedicaremos a la investigación de la adquisición manual, por lo que dejaremos los procesos automáticos para trabajos futuros.

Para realizar la adquisición manual se han propuesto varias metodologías que pretenden ser de índole generalista [0] [24] [32]. En general, estas metodologías se basan en las 5 etapas de la AC definidas por Buchanan [20]: Identificación, Conceptualización, Formalización, Implementación y Pruebas. El apoyo al proceso en las etapas de Conceptualización y Formalización ha sido enfocado con diversas metodologías. La gran mayoría de ellas enfrentan la adquisición de conocimiento usando técnicas como: entrevistas, protocolos, simulaciones, etc., y diferentes representaciones intermedias como marcos, redes semánticas, diagramas de transición de estados, redes epistémicas, etc. [10] [13].

Una tendencia que complementa los modelos anteriores es el enfoque antropológico de la AC [8]. Este enfoque se basa en el conocimiento metodológico y teórico que ciencias como la antropología y sociología donde se propone analizar este proceso desde la perspectiva de los mecanismos de razonamiento del experto. Es decir, descubrir la metodología general que el experto aplica para resolver un problema y de ella obtener un modelo estructurado de AC.

El problema de AC en el área médica se ha tratado, en general, analizando el proceso de diagnóstico desde la perspectiva del médico enfrentado a un paciente [23] [2], es decir, se trata de modelar el proceso diagnóstico que el médico realiza y a través de este modelo, estructurar la

adquisición. En este trabajo se entrega una metodología de adquisición de conocimiento para Sistemas Expertos en la clase de diagnóstico médico que basa en un modelo empírico del proceso de diagnóstico y contempla básicamente la estructuración del dominio del problema en subproblemas diferenciables, posibles de analizar en forma estructurada.

En la primera parte de este trabajo se presenta un análisis del proceso de diagnóstico médico visto desde una perspectiva general. La metodología de adquisición que se propone a continuación, se basa en la modelación del resultado de este análisis. Por último, se presenta un caso práctico en el que se validan las ideas propuestas.

2. Fundamentos

El término diagnóstico tiene su origen en Grecia, *diagnostikos*, y significa *capaz de discernir*. Este significado, aplicado al área médica, implica poder seleccionar o distinguir una enfermedad² de acuerdo a los síntomas y signos que presente el paciente³.

El proceso de diagnóstico en medicina se realiza a partir del análisis ordenado y sistemático de los síntomas y signos patológicos en la búsqueda de hipótesis iniciales, para concluir en una síntesis que explique cada uno de los hechos detectados a través de tres procedimientos claramente diferenciables y de la aplicación generalmente secuencial; éstos son:

- Anamnesis: recolección de los hechos de significación médica (síntomas u otros) en la vida del paciente, a partir del relato subjetivo de ellos por parte del enfermo. En general, permite comenzar a formular hipótesis diagnósticas, estrechando el dominio de hechos a considerar por los procedimientos ulteriores de diagnóstico.

- Examen físico: recolección de los hechos de significación médica objetiva (signos), obtenidos directamente por el clínico, estén aquéllos relacionados a una hipótesis diagnóstica inicial, en cuyo caso adquieren carácter confirmatorio, o no. En este último caso adquieren carácter evocador de nuevas hipótesis,

- Exámenes complementarios: Recolección de evidencias experimentales objetivas (exámenes de laboratorio) o bien de signos físicos a través de recursos tecnológicos estándar,

² Entendiendo por enfermedad a aquella entidad nosológica básica, caracterizada por la conjunción de un grupo de síntomas y signos clínicos determinados, que responden a una etiología u origen común y que representan una alteración fisiológica (funcional) y anatómica (estructural) precisa

³ Historia Universal de la Medicina. Lain Entralgo Editor. SALVAT (Tomo 7). 1975. pp. 211-229.

que permiten poner a prueba una hipótesis diagnóstica consolidada en las etapas anteriores o bien comprobar su validez.

Al realizar el diagnóstico, el especialista utiliza, en general, estos tres procedimientos, pero los objetivos de cada uno de ellos se mezclan en una estructura de diagnóstico global. Es decir, cada uno de estos procedimientos son herramientas del especialista que utiliza al diagnosticar.

A grandes rasgos el médico realiza dos procesos distintos durante la recolección de datos con el paciente, con los cuales, espera converger a un diagnóstico. El primero es el de focalizar su campo de atención, es decir, llegar a un conjunto mínimo de entidades que compartan una sintomatología y signología común. A este proceso se le denomina diagnóstico sindromático⁴. Un síndrome habitualmente no identifica la causa precisa de una enfermedad, pero reduce el número de posibilidades y, a menudo, sugiere algunos estudios clínicos y de laboratorio especiales [33]. Es necesario destacar que este proceso no ocurre, necesariamente, en uno solo de los procedimientos antes descritos; puede ser necesario utilizar todos ellos para lograr esta focalización. El segundo proceso implica determinar una única explicación causal (etiológica), estructural (anatómica) y funcional (fisiológica) de entre el conjunto mínimo de diagnósticos asociados al síndrome. Este tiene como objetivo encontrar la evidencia suficiente para llegar a establecer el diagnóstico final. Al igual que la etapa anterior, este objetivo puede ser satisfecho a través de más de un procedimiento del proceso de diagnóstico.

Esta descripción del **proceso de diagnóstico en medicina** no siempre se cumple del mismo modo, ya que el énfasis en los diversos procedimientos diagnósticos puede variar frente a determinadas circunstancias (diagnóstico por descarte, diagnóstico pediátrico, diagnóstico del paciente comatoso, etc), pero constituye una técnica general que se aplica en la mayoría de los casos y, en particular, al tratado en este trabajo.

Otro aspecto que no se consideró en la descripción del proceso anterior es la experiencia del médico, es decir, la capacidad de realizar un diagnóstico en base a un conjunto mínimo de síntomas sin necesidad de seguir el camino completo de preguntas que un novato realizaría. Esta capacidad de obviar una serie de preguntas del protocolo normal de diagnóstico es lo que se considera heurísticas. Estas, en general, no tienen una explicación teórica conocida que fundamente su utilización.

⁴ Síndrome es el grupo de síntomas y signos asociados a determinada alteración de función y relacionados entre sí por medio de alguna peculiaridad anatómica, fisiológica o bioquímica.

De acuerdo con estas características del proceso de diagnóstico es posible dividirlo en las siguientes etapas:

- **Estratégica:** En esta etapa el especialista utiliza conocimiento que le permite establecer el árbol de posibilidades de diagnóstico, es decir, determina el espacio de búsqueda acotado por restricciones que deben satisfacerse posteriormente durante el recorrido del espacio.
- **Táctica:** Una vez establecido el conjunto probable de estados sindromáticos (objetivos diagnósticos intermedios) y etiológicos (objetivos diagnósticos finales), el especialista utiliza el conocimiento sobre las características particulares de cada uno de las posibles síndromes o enfermedades para alcanzar y corroborar los diferentes estados diagnósticos.
- **Heurísticas:** Esta etapa complementa y hace más eficiente ambas etapas anteriores, al permitir al experto ahorrarse pasos propios de la sistematización lógica general que subyace a dichos procesos, en virtud de la aplicación de su conocimiento heurístico derivado de la experiencia.

Cada una de estas etapas implica la existencia de **distintos conocimientos** (conocimiento general, conocimiento particular, conocimiento empírico). Cada uno de ellos debiera ser **adquirido en forma separada** (o al menos identificado y tratado en forma separada). A continuación se analizan cada uno de estos procesos de adquisición dentro del marco de desarrollo de un sistema experto.

3. Diagnóstico y Adquisición de Conocimiento

En el año 1975 [7] se comienza a utilizar el modelo Pizarrón para la construcción de SE. Más tarde, en 1986 Penny Nii [21] formaliza el modelo de Sistemas Pizarrón para la construcción de Sistemas Expertos (SE). Este modelo tiene su base en la modularización del dominio del problema, estructurándolo de tal forma que los subdominios definidos correspondan a etapas diferenciables en el proceso global de resolución. Así, cada una de las etapas es tratada como un SE independiente del resto. Todos los SE así definidos se comunican a través de una memoria común que es llamada Pizarrón [6] [14].

En medicina este modelo ha sido propuesto por [2], desde una perspectiva generalista, es decir, en ella se plantea a cada una de las especialidades médicas representadas a través de fuentes de conocimiento en un sistema Pizarrón. Este enfoque totalitario no es el caso de este trabajo ya que, desde una perspectiva práctica, una proposición de tal magnitud involucra tiempo y recursos con los que, actualmente no se cuentan. Además, sería una tarea de tal complejidad que, seguramente, no es el momento de enfrentarla, dado lo inmaduro de esta

ciencia. Ejemplos más específicos se encuentran en los Sistemas Expertos PUFF y MYCIN [22], que fueron reconstruidos utilizando una armazón (shell) de Sistemas Pizarrón.

Este enfoque de construcción de un SE es posible adaptarlo a la etapa de Adquisición de Conocimiento incorporando una interpretación semántica al control y programación (scheduling) del sistema, además de una sintáctica [27]. Esta adaptación depende del dominio de problemas a resolver y en el caso del diagnóstico en el área médica, es posible encontrar referencias que proponen esquemas similares [2] [23]. Estos esquemas se basan en la modularidad y enfoque jerárquico que el modelo Pizarrón provee.

En esta sección se analiza cada una de las etapas de diagnóstico definidas y se estructuran en una etapa de adquisición de conocimiento.

3.1 Adquisición estratégica

En esta etapa de adquisición el objetivo es modelar la estrategia de resolución que el médico tiene para resolver el problema de diagnóstico. Esta modelación se representa en una estructura que permite obtener una visión abstracta del proceso que el médico sigue al realizar el diagnóstico.

La estructuración de la estrategia de resolución del problema se obtiene al separar éste en módulos autocontenidos que representen los objetivos de diagnóstico intermedio (etapa de diagnóstico sindromático) y finales (etapa de diagnóstico etiológico o causal).

Para formalizar el conocimiento, los objetivos de diagnóstico definidos se representan a través de un grafo⁵ que modela la estrategia de resolución del problema. En el grafo, los nodos representan las etapas de resolución y los arcos reflejan las relaciones entre éstas.

Por ejemplo, supongamos que un sistema experto en construcción se utilizará para apoyar el diagnóstico diferencial del síntoma Vértigo y que se está en la etapa de adquisición estratégica. Para obtener los resultados deseados de esta etapa, se le consulta al médico:

¿ Describa a grandes rasgos, qué etapas sigue al realizar el diagnóstico diferencial de esta enfermedad ?

La respuesta ideal sería aquella que permita estructurar el espacio de búsqueda y acotar al máximo su tamaño, por ejemplo:

⁵ Para no restarle generalidad, en este trabajo se plantea la obtención de un grafo. En la práctica, se obtuvo un árbol.

Primero determino si el paciente presenta las características del síntoma vértigo, una vez definido esto, trato de determinar el origen anatómico de la lesión, separando su eventual origen en dos grandes grupos, sistema periférico y sistema central. Esta decisión se debe a la conveniencia de delimitar el número de posibles etiologías al de un tamaño manejable y finito [19], teniendo presente, además, que la frecuencia de lesiones centrales es muchas veces inferior a la de lesiones periféricas.

Una vez determinado el origen, en el caso de lesiones periféricas, investigo las enfermedades más fáciles de diagnosticar, estas se agrupan en ... etc.

Esta respuesta (que se obtiene en varias sesiones de adquisición), permite comenzar a estructurar el grafo estratégico que, en este ejemplo, sería:

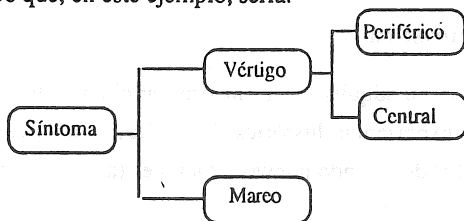


Figura 1. Resultado de una parte de la adquisición estratégica.

Este proceso sigue hasta completar el esquema general que el médico utiliza para realizar este diagnóstico y representarlo a través de un grafo.

3.2 Adquisición táctica

En este caso, para cada etapa de diagnóstico definida se establece un procedimiento para realizar el diagnóstico a ese nivel. La adquisición de cada una de estas etapas debe estar centrada en el objetivo que ésta cumple. Si se trata de una etapa intermedia, su objetivo será distinguir el camino a seguir para el siguiente nodo. En el caso de una etapa final, el objetivo es corroborar el camino de diagnóstico seguido hasta ahora.

Por ejemplo, siguiendo el caso anterior, se le hace la siguiente pregunta al médico:

¿Sin profundizar en otras etapas, cómo determina si el paciente presenta el síntoma vértigo?

Una respuesta que cumple los objetivos sería:

Si el paciente describe su molestia como una sensación de movimiento rotatorio de sí mismo o del entorno, o presenta síntomas acompañantes característicos, se puede concluir que sí corresponde al síntoma vértigo.

Otra pregunta, sería;

¿Supongamos que ya determinó que el paciente tiene el síntoma vértigo, cómo determina si la lesión es de origen central o periférico?

Como es de suponer, la respuesta a esta pregunta constituye otra etapa del sistema experto, que resuelve otra parte del diagnóstico diferencial. De esta forma, se avanza en la adquisición analizando cada etapa por separado, suponiendo que la información anterior es dada.

Para cada una de estas etapas pueden haber técnicas de adquisición y representaciones intermedias diferentes. Con esto se permite adecuar cada técnica y representación a la estructura de pensamiento del experto.

3.3 Adquisición heurística

El objetivo de esta etapa de la adquisición es incorporar el conocimiento inestructurado del experto, producto de su experiencia histórica. Para ello, se analiza y refina la estructura global del problema (grafo) definiendo nuevas relaciones (arcos) entre los objetivos de diagnóstico ya establecidos (nodos)⁶.

Para reflejar estas nuevas relaciones en el comportamiento dinámico del sistema se modifica el contenido de cada etapa involucrada a través de un nuevo proceso de adquisición táctica.

La incorporación de heurísticas permite utilizar el conjunto mínimo de información que ayude a alcanzar el objetivo diagnóstico final más probable. En el caso de los objetivos diagnósticos intermedios se establecen relaciones más eficientes, y en el caso de los objetivos diagnósticos finales, se asocian diagnósticos alternativos relacionados (proceso de diagnóstico diferencial).

Siguiendo con el ejemplo anterior, supongamos que Enfermedad de Ménière y Fístula Perilinfática son diagnósticos diferenciales que en la práctica aparecen relacionados, pero están en grupos diagnósticos distintos; dada esta situación, una pregunta sería:

¿Suponga que en base a las preguntas que hemos hecho, se llega a pensar que el paciente sufre de Enfermedad de Ménière, pero no es totalmente seguro, cómo y en qué casos trataría de investigar si se trata de una Fístula Perilinfática?

⁶ En este proceso el árbol obtenido en la etapa de adquisición estratégica se transforma en un grafo.

La respuesta a esta pregunta obligaría a incluir un arco entre ambas enfermedades y, por lo tanto, a modificar el resultado de la adquisición táctica de estas etapas. Esto permite incorporar este conocimiento en forma estructurada, sin complicar las otras etapas.

A continuación se describe un caso práctico de la aplicación de esta técnica de adquisición. Este caso corresponde al ejemplo hasta ahora utilizado.

4. Diagnóstico Diferencial del Vértigo

El área médica es un excelente laboratorio de investigación para el campo de Inteligencia Artificial (IA), específicamente, Sistemas Expertos (SE) ya que en ella el diagnóstico es algo cotidiano. Por esto, este SE trata un problema de diagnóstico en medicina, es decir, a partir de ciertos síntomas y signos detectados en el paciente, llega a concluir un diagnóstico de la enfermedad. En este caso, el problema a resolver es el de diagnosticar una de las tantas patologías asociadas con el síntoma Vértigo⁷.

El Vértigo es un síntoma frecuente en la práctica clínica, cuyo diagnóstico diferencial plantea muchas veces confusión o frustración al médico generalista [9] [15]. Por eso, no es raro que el diagnóstico de la patología causal sea sólo parcial o que se envíe a los pacientes en forma innecesariamente precoz al especialista. La mejoría de la eficacia y precisión en el diagnóstico diferencial por parte del médico generalista puede contribuir a un ahorro significativo de tiempo y recursos para el médico, el paciente y el sistema de salud general [30].

4.1 Adquisición estratégica

La realización de este proceso permitió estructurar un grafo que se muestra parcialmente en la figura 2.

⁷ Vértigo se define como la sensación subjetiva o ilusión de movimiento, en la que la percepción más frecuente del paciente es que está girando en el espacio o bien que los objetos se mueven en el ambiente alrededor de él; sin embargo, a veces, la sensación es de desplazamiento en el espacio [9].

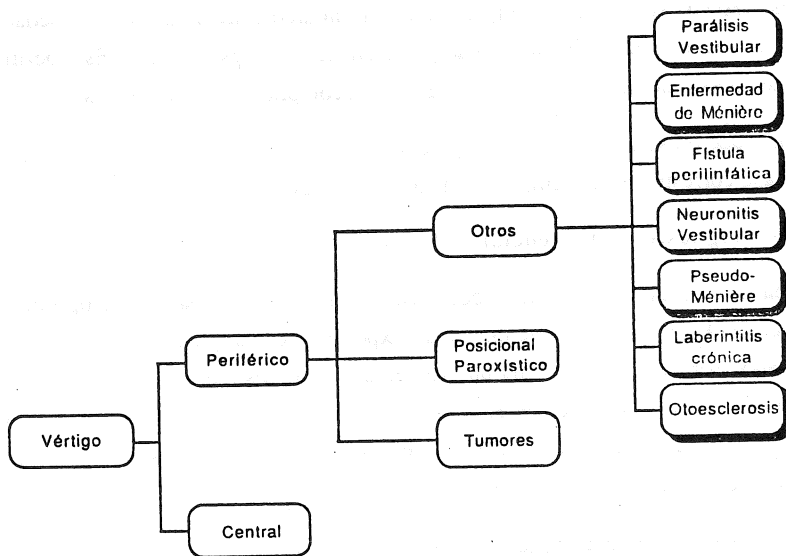


Figura 2. Parte del esquema jerárquico de diagnóstico del Vértigo.

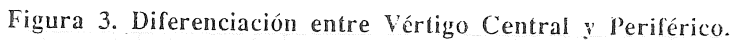
Cada nodo de la figura 1 es un objetivo diagnóstico del problema del sistema experto en desarrollo y los arcos representan el camino de resolución a seguir. En el grafo se distinguen claramente objetivos diagnósticos intermedios (no todos explotados), a los que corresponden los siguientes nodos: Vértigo, Periférico, Central, etc. Por otra parte, los nodos: Parálisis Vestibular, Neuritis Vestibular, Enfermedad de Ménière, etc., corresponden a objetivos de diagnóstico final.

4.2 Adquisición táctica

La adquisición en esta etapa, se basa en los objetivos de diagnóstico establecidos en la etapa anterior. Cada uno de ellos es analizado teniendo en mente las etapas siguientes.

Por ejemplo, en este caso, al hacer el análisis del objetivo diagnóstico intermedio denominado "Vértigo" (figura 1), se obtuvo el conocimiento necesario para construir un SE que discrimina Vértigos Centrales de Vértigos Periféricos.

La representación intermedia de cada una de los objetivos diagnósticos es variable y, en algunos casos, como en la figura 3, se estableció una secuencia de pasos que indica la transición de un nodo (Vértigo) a otro (Vértigo periférico)



```

graph TD
    OS[Otosclerosis] --> T[transmisión]
    OS --> P[percepción]
    PV[Parálisis Vestibular] --> P
    T --> ST[¿Sordera de transmisión o de percepción?]
    ST --> LCR[Labirintitis Crónica]
    ST --> PV2[Parálisis Vestibular]
    ST --> OS2[Otosclerosis]
    P --> PV3[Parálisis Vestibular]
    P --> LC[Labirintitis Crónica]
    LC --> EA[Existen antecedentes de Sífilis?]
    EA --> LC2[Labirintitis Crónica]
    EA --> EM[Enfermedad de Ménière]
    EM --> N[Normal]
    EM --> FP[Fístula perlinfática]
    N --> ON[Otoscoopia Neumática]
    FP --> A[Alterada]
    ON --> EHT[¿El paciente tiene Hipoacusia o Tinnitus?]
    A --> FP2[Fístula perlinfática]
    EHT --> NV[Neuritis Vestibular]
    EHT --> PV4[Parálisis Vestibular]
    EHT --> PM[Pseudo-Ménière]
    NV --> PCA[¿Prueba calórica alterada?]
    PV4 --> PCA
    PM --> PCA
    PCA --> NV2[Neuritis Vestibular]
    PCA --> PV5[Parálisis Vestibular]
    NV2 --> ECT[¿El curso temporal de la enfermedad es similar a:]
    PV5 --> ECT
    ECT --> G1[Gráfico 1: Semanas Meses]
    ECT --> G2[Gráfico 2: Días-Semanas]
    G1 --> PV6[Parálisis Vestibular]
    G2 --> NV3[Neuritis Vestibular]
  
```

Figura 4. Esquema de decisión para el diagnóstico de "Otros Vértigos"

En la figura 4, la representación sugiere un mecanismo de razonamiento abductivo, ya que se parte de un conjunto de hipótesis de diagnóstico que se reducen a través de la evidencia empírica (antecedentes clínicos), hasta llegar a un diagnóstico final (en negrita en la figura).

En el caso de las etapas finales, como representación intermedia, se obtuvieron tablas de verdad que permiten corroborar el diagnóstico. En la figura 5 se muestra parte de una de estas tablas de verdad para corroborar la existencia de la Enfermedad de Ménière. En este caso, el experto anota el peso (importancia entre +10 y -10) asociado a la presencia o ausencia de un síntoma o signo en el cuadro diagnóstico. Al momento de corroborar la enfermedad, estos pesos son sumados para obtener un valor que se compara con el umbral de aceptación o rechazo de la enfermedad.

Síntoma o Signo	Presente	Ausente
Duración de la crisis:		
minutos a horas (20 min 4 hrs)	+9	-5
episódico (días a semanas)	+5	-6
Síntomas acompañantes:		
Hipoacusia (neural, episódica)	+9	-3
Tinnitus (fluctuante.)	+6	-1
Oído lleno	1	-1
Síntomas NO acompañantes:		
Síntomas neurológicos	-8	+7
Antecedentes		
Ménière en la familia	+2	-1
Exámenes		
Audiometría:		
Alterada	+8	-1
Reclutamiento	+6	-1
Prueba calórica		
Alterada	+6	-7

Figura 5. Parte de la Caracterización de la Enfermedad de Ménière

Estas tablas de verdad son criticadas en [29] debido a que en dominios muy extensos la recolección y procesamiento de todos los datos puede ser muy cara. En este caso se utilizan sobre dominios predefinidos y acotados lo que elimina esa complejidad. Además, el hecho de incorporar el peso de la evidencia ausente ha demostrado ser apropiado en el diagnóstico médico [23].

4.3 Adquisición heurística

Una vez caracterizadas todas las etapas del sistema, se obtiene un grafo global que modela el sistema (Figura 6). Este grafo relaciona todas las etapas predefinidas y además, incluye heurísticas que se agregan al completar el análisis global. Estas no fueron incorporadas desde

un comienzo en pos de un orden necesario en la adquisición de conocimiento de un dominio amplio. Las heurísticas se basan, principalmente, en razones de frecuencia de enfermedades y, a futuro, se pretende incorporar una base de datos que almacene la información de los diagnósticos para establecer una estadística propia, que permita definir nuevas heurísticas.

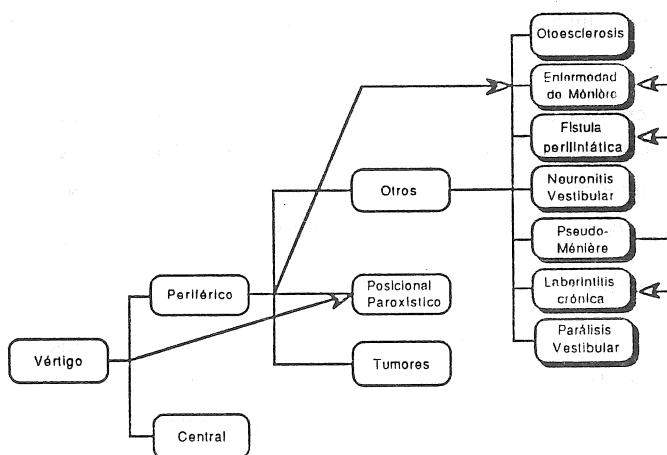


Figura 6. Estructuración de las etapas de diagnóstico del Vértigo.

Si al implementar el sistema experto se utiliza el modelo Pizarrón, este grafo puede ser utilizado para efectuar el meta-control del sistema [12].

5. Análisis de la Metodología de Adquisición de Conocimiento

El esquema de adquisición descrito tiene varias ventajas respecto de otros esquemas de adquisición tradicionales, éstas son:

- **Abstracción.** La utilización del modelo conceptual de los sistemas pizarrón, demanda un nivel de abstracción mayor al requerir de la definición de objetivos de diagnósticos diferenciados en la etapa de análisis general del problema. Esto repercute en la facilidad de análisis del problema completo, ya que se obtiene una visión global del proceso de adquisición a seguir.
- **Independencia.** Cada etapa definida es susceptible de ser analizada por un experto diferente, el cual sea especialista en ese dominio del problema. Esta característica permite la especialización del conocimiento y el máximo aprovechamiento del recurso humano (los expertos) en la construcción del sistema [2].

- **Versatilidad.** Al incorporar etapas de análisis independientes, es posible utilizar múltiples representaciones intermedias. Esto es posible, ya que, cada etapa definida se puede implementar utilizando una herramienta particular. Además, permite modelar en forma más exacta las distintas formas de razonar de los expertos⁸.

Estos tres puntos resumen las ventajas de la utilización de este modelo en la adquisición de conocimiento.

Otro aspecto interesante de considerar en este método de adquisición es que debido a la independencia de cada etapa, los caminos del grafo resultante definen contextos separados para los diferentes diagnósticos finales (o intermedios) ya que es posible valorar los hechos o evidencias según la etapa o secuencia de etapas en que se consideren [23].

6. Conclusiones

Hasta la fecha no hay literatura de IA que sirva de guía útil de cómo hacer adquisición de conocimiento para Ingenieros del Conocimiento novicios [8]. El trabajo presentado es una guía para llevar a cabo la tarea de adquisición de conocimiento en el dominio de diagnóstico médico.

A través de este trabajo se ha mostrado la adaptación del modelo conceptual de los sistemas pizarrón en la etapa de adquisición de conocimiento de un sistema experto. Para ello se utilizó un sistema experto en diagnóstico diferencial del Vértigo que sirve como base empírica de esta adaptación. De la experiencia se concluye que este modelo aplicado a la adquisición provee de: abstracción en el proceso de resolución, independencia en cada etapa definida y versatilidad de la representación intermedia.

Estas características son de gran ayuda en la construcción de sistemas expertos de gran tamaño, por ejemplo, en sistemas expertos distribuidos [5] [17].

Como tarea futura queda la implementación de herramientas automáticas que apoyen la adquisición de conocimiento utilizando la metodología descrita.

⁸ Se refiere a la característica híbrida de los mecanismos de razonamiento del ser humano, es decir, al resolver un problema, el experto utiliza múltiples esquemas de razonamiento (inducción, abducción, etc).

7. Agradecimientos

Este trabajo está respaldado por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología de Chile, Proyecto #89-059i y por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Proyecto CHI/ 88/022.

8. Bibliografía

0. Becker, L. Bartlett, R. Kinigadner, A. Roy, M. Using manufacturing Process Representation. (*AI EDAM*) *Artificial Intelligence for Engineering, Design, Analysis and Manufacturing*, 3 (1), 1989.
1. Ben-Bassat, M Carlson, W. C. Puri, V. K. Davenport, M. D. Schriver, J. A. Latif, M. Smith, R. Portigal, L. D. Lipnick, E. H. Weil, M. H. Pattern-based interactive diagnosis of multiple disorders: the MEDAS system. *IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine Tnell*, 2:148-159, 1980.
2. Chandrasekaran, B. Towards a Taxonomy Of Problem Solving Types. *The AI Magazine*, Winter/Spring 1983.
3. Cullen, J. Bryam, A. The Knowledge Acquisition Bottleneck: Time for Reassessment. *Expert Systems*, 5(3): 216 - 223, 1988.
4. Davis, R. Interactive transfer of expertise: acquisition of new inference rules *Artificial Intelligence* 12:121-157, 1979.
5. Durfee, E. H. Lesser, V. R. Corkill, D. D. Trends in Cooperative Distributed Problem Solving. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 1(1), 1989.
6. Engelmores, R. Morgan, T. Blackboard Systems. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1988.
7. Erman, L. D. Lesser, V. R. A multi-level organization for problem solving using many diverse cooperating sources of knowledge *IJCAI* 4: 483-490, 1975.
8. Forsythe, D and Buchanan, B. Knowledge Acquisition for E.S: Some Pitfalls and Sugestion. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 19(3), May/June 1989.
9. Goic, A. Chamorro, G. Mareos y Vértigos. En: *Semiología Médica*. Santiago, Publicaciones Técnicas Mediterraneo Ltda. 1987.
10. Greenwell, M. Knowledge Engineering for Expert Systems. Ellis Hordwood Books Series in Expert Systems, Chichester, 1988.
11. Hepp P. Introducción a la Adquisición de Conocimiento para Sistemas Expertos. *Apuntes de Ingeniería* (36):87-94, 1989.
12. Hinostroza, J. E. Hepp, P. Strategic Control in Blackboard Systems. *X International Conference of the Chilean Computer Science Society*, 23 al 27 de Julio, Santiago, Chile, 1990.
13. Hoffman R. The Problem of Extracting the Knowledge of Experts from the Perspective of Experimental Psychology, *AI Magazine* 8(2): 53-67, 1987.
14. Jagannathan, V. Rajendra Dodhiawala. Baum, L. S. Blackboard Architectures and Applications. Academic Press Inc. 1989.
15. Kerr, A. G. A symptomatic approach to vertigo. *J. Laryngol. Otol.* 97: 813, 1983.
16. Koton, P. A medical reasoning program that improves with experience. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 30:177-184, Elsevier, 1989.

17. Lesser, V. R. Corkill, D. D. The Distributed Vehicle Monitoring Testbed: A Tool for Investigating Distributed Problem Solving Networks. En: Englemore y Morgan,eds., Blackboard Systems, 1988. pp. 353-386.
18. Liang, T. Chandler, J. Han, I. Integrating Statistical and Inductive Learning Methods for Knowledge Acquisition. *Expert Systems with Applications* 1(4) 1990.
19. Martin, J. B. Approach to the patient with Nervous System Disease. En "Harrison's Principles of Internal Medicine. New York. McGraw Hill Book Co. 1987. 1 pp. 3.
20. Musen, M. Automated Generation of Model-Based Knowledge-Acquisition Tools. *Research Notes in Artificial Intelligence*, Pitman. London. Morgan Kaufmann Publishers, 1989. pp. 1-94.
21. Nii, H. P. Blackboard Systems: The Blackboard Model of Problem Solving and the Evolution of Blackboard Architectures. *AI Magazine* 7 (2), 1986.
22. Nii, H.P. Aiello, N. AGE (Attempt to GEneralize): A Knowledge-Based Program for Building Knowledge-Based Programs. En: Englemore y Morgan,eds., Blackboard Systems, 1988. pp. 251-280.
23. Pople, Jr., H. E. Heuristics Methods for Imposing Structure on Ill-Structured Problems: The Structuring of Medical Diagnostics. En P.Szolovits, eds., *Artificial Intelligence in Medicine*. Washinton, DC AAAS/Westview Press. 1988.
24. Rook, F. W. Croghan, J. W. The Knowledge Acquisition Activity Matrix: A System Engineering Conceptual Framework. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 19(3) May/June 1989.
25. Shortliffe, E. H. Computer-based Medical Consultations: MYCIN. New York Elsevier. 1976.
26. Shortliffe, E. H. Scott, A. C. Bishoff, M. B. Campbell, A. B. van Melle, W. Jacobs, C. D. ONCOCIN: an expert system for oncology protocol management. Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence, Vancouver, 1981. pp. 876-881.
27. Silverman, B. G. Chang, J. S. Kostas, F. Blackboard System Generator (BSG): An Alternative Distributed Problem Solving Paradigm. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 19(2). March/April 1989.
28. Spiegelhalter, D. J. Kinll-Jones, R. P. "Statistical and Knowledge-based Approaches to Clinical Decision-support Systems, with an Application in Gastroenterology" J. R. Statist. Soc. A(1984), Part 1, pp. 35-77.
29. Szolovits, P. Pauker, S. G. Categorical and Probabilistic Reasoning in Medical Diagnosis. *Artificial Intelligence* 11:115-144, 1978.
30. Trappl, R. Porenta, G. Pharinger, B. Medical Expert System for Developing Countries: An application in primary Health care. *Micro-Electronics Monitor*. (28) United Nations Development Programme. October 1989.
31. Weiss, S. M. Kulikowski, C. A. Amarel, S. Safir, A. "A Model-Based Method for Computer-Aided Medical Decision-Making" *Artificial Intelligence* 11: 145-172. 1978.
32. Weitzel, J. R. Kerschberg, L. A System Development Methodology for Knowledge-Based Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 19(3), May/June, 1989.
33. Willson, J. D. Braunwald, E. Isselbacher, K. J. Petersdorf, R. G. Martin, J. B. Fauci, A. S. The Practice of Medicine. En: Harrison's Principles of Internal Medicine. New York. McGraw Hill Book Co. 1991.1 pp. 3.