

SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES: PROPUESTA DE UNA ARQUITECTURA PARA APRENDIZAJE EN SALUD PÚBLICA

C. González^{1,2}, J.C. Burguillo¹, M. Llamas¹, J.C. Vidal²

¹ETSI Telecomunicación. Departamento de Ingeniería Telemática
Universidad de Vigo. 36200 Vigo. (SPAIN)

²Universidad del Cauca, Departamento de Sistemas, Popayán, Colombia
{cgonzals, jrjal, martin}@det.uvigo.es
{cgonzals, jcvidal}@unicauca.edu.co

Resumen

La importancia de garantizar que los profesionales de la Salud (médicos, enfermeras, etc.) reciban educación y capacitación adecuadas sobre problemas graves dentro del dominio de Salud Pública, es la motivación principal de nuestro trabajo. En este artículo se muestra cómo la utilización de Sistemas de Tutorías Inteligentes (STIs) vinculados con la aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial (IA) constituye una valiosa contribución a la mejora de los programas de capacitación dentro del dominio de Salud Pública. El uso de STIs mejora el proceso de aprendizaje y toma de decisiones a través del uso de tutorías personalizadas y aprendizaje basado en casos. Nuestra arquitectura se presenta como una solución interoperable, flexible y modular, que integra Sistemas Multiagente y el paradigma de aprendizaje basado en casos como una de las más prometedoras formas de acercamiento a la enseñanza médica. La validación de la arquitectura se realiza con un prototipo de Sistema Tutor Inteligente para Tuberculosis (STI-TB) dentro del marco del proyecto SINCO-TB (Sistema Inteligente para el Control de la Tuberculosis) que se lleva a cabo en la Universidad del Cauca (Colombia).

1. Introducción

Una aplicación potencial de sistemas basados en el conocimiento en Informática Médica se encuentra en la formación de los profesionales de la Salud. Aunque se han realizado grandes avances en soporte a la decisión, análisis, recolección y tratamiento de la información médica, poco trabajo se ha desarrollado en el área de educación médica asistida por computador.

Por lo anterior, se plantea el desarrollo de un Sistema de Tutorías Inteligente que integrado en el marco del proyecto SINCO-TB [1] contribuya en el cumplimiento de las metas establecidas por los organismos de salud en lo que se refiere a planes de capacitación establecidos dentro de los programas de Prevención y Control de enfermedades de alta prevalencia, prioritarias en Salud Pública. Los planes de capacitación en Prevención y Control involucran capacitación a estudiantes de pre-grado y profesionales, e incluyen: (1) caracterización clínica de las enfermedades de alta prevalencia, (2) diagnóstico, (3) tratamiento y (4) planes operativos de administración de cada uno de los programas en relación con el conjunto de enfermedades. Nosotros proponemos una aproximación multiagente que ofrece grandes ventajas teniendo en cuenta que el desarrollo de un STI en el campo médico implica un elevado nivel de complejidad y grandes estructuras de conocimiento teórico en constante evolución. El STI se enmarca, según los fundamentos pedagógicos, en el paradigma de Razonamiento Basado en Casos (RBC) proporcionando asistencia inteligente y personalizada.

El resto del artículo está organizado como sigue. En la sección 2 se describen los STIs y se presenta una breve descripción de trabajos realizados en el dominio de la salud. En la sección 3 se presenta la arquitectura general del Sistema Tutor Inteligente. En la sección 4 se expone un caso de estudio, que se enfoca en el trabajo con un Sistema Tutor Inteligente para Tuberculosis (STI-TB). Finalmente, en la sección 5 se presentan algunas conclusiones y trabajos futuros.

2. Sistemas de Tutorías Inteligentes (STIs)

Los STIs son sistemas instruccionales adaptativos, que poseen ciertas características “inteligentes” en relación a la capacidad de adaptación, a los tipos de aprendizaje, y al conocimiento de los distintos alumnos. Representan un conjunto de principios instruccionales lo suficientemente generales como para ofrecer instrucción efectiva mediante un conjunto de tareas de enseñanza. Además, un STI se adapta a las características y ritmo de aprendizaje de cada alumno, proporcionando una ayuda adaptable, que es capaz de ofrecer a los estudiantes elementos de autoreflexión sobre su propio rendimiento, pudiendo incluso compararse con otros estudiantes, reales o modelados. Los STIs son capaces de guiar al alumno a lo largo de un dominio particular de conocimiento, resolviendo durante el proceso tareas tales como la elaboración de una estrategia de tutorización, la generación de ejercicios a la medida de las necesidades del alumno, la resolución pedagógica de estos ejercicios, así como la explicación de la solución. Estas tareas se organizan en distintos módulos, siendo los componentes fundamentales de un STI tradicional: *un modelo del alumno, un modelo pedagógico, un modelo didáctico y una interfaz con la que interactúa el usuario.*

La historia de los STIs tiene sus raíces a principios de los años 70 cuando Carbonell[2] empieza a realizar algunos trabajos combinando métodos de Inteligencia Artificial con Instrucción Asistida por Computador. En el dominio de la salud se han desarrollado diversos STIs, pero el alcance del conocimiento del dominio es muy pequeño y el proceso de retroalimentación ha sido relevante tan solo para una pequeña parte de ese dominio. Entre los STIs desarrollados de mayor importancia podemos mencionar GUIDON[3], un Sistema de Tutorías Inteligente orientado al dialogo que usó 200 reglas de tutoría, además de realizar una separación entre el conocimiento del dominio y el conocimiento pedagógico. MYCIN[4] trabaja con 400 reglas y está orientado específicamente en la detección temprana de organismos en casos de meningitis y contaminación de la sangre. Otros STIs han sido desarrollados en el área de radiología para diagnóstico como RAD-TUTOR[5] y VIA-RAD[6], entre otros.

2.1. STIs y Sistemas Multiagente (SMA)

El desarrollo de STIs bajo una aproximación multiagente, tiene en cuenta la división de las tareas del sistema entre diversos agentes, entidades concurrentes que gozan de propiedades como:

- **Autonomía:** Los agentes deben ser semiautónomos es decir, no necesitan una directa y constante supervisión. Por ejemplo, un agente conoce cómo y cuando presentar un mensaje al estudiante y cuándo actualizar su base de conocimiento.
- **Proactividad:** Los agentes tienen metas y objetivos que cumplir, actuando consecuentemente de una manera autónoma para lograrlos. Por ejemplo seleccionar los contenidos didácticos que se le deben presentar al estudiante.
- **Capacidad Social:** El agente debe ser capaz de interactuar con su entorno, es decir, llevar a cabo diferentes tipos de comunicación con otros agentes.
- **Aprendizaje:** Los agentes deben ser capaces de aprender de su entorno y de la interacción con otros agentes, incorporando estos cambios en su base de conocimiento.

2.2. STIs y RBC: un paradigma de aprendizaje

El Razonamiento Basado en Casos (RBC), según Aamodt and Plaza [7], es un proceso cíclico que comprende un conjunto de etapas como se muestra en la Figura 1. En este proceso cada caso es una parte contextualizada de conocimiento representando una experiencia que comprende el problema, la solución aplicada (plan instruccional) y el resultado obtenido.

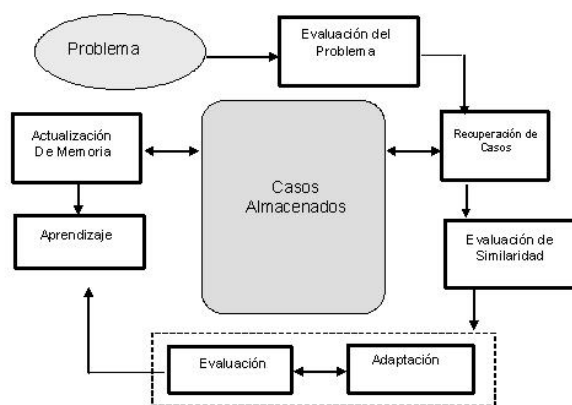


Figura 1. Modelo de Razonamiento Basado en Casos

Este paradigma difiere de otros enfoques y técnicas en que es capaz de utilizar el conocimiento específico adquirido en situaciones previas y utilizarlo en la situación presente. Un problema nuevo se resuelve buscando en la memoria un caso similar resuelto en el pasado. Además, este esquema permite incrementar el conocimiento almacenando el nuevo caso para

ser usado en situaciones futuras. Esto permite que el sistema se mantenga actualizado en todo momento. Por lo anterior, ante la presentación de un problema, los alumnos podrán buscar respuestas a sus inquietudes encontrando desde aspectos clínicos, epidemiológicos, tipos de tratamiento, pronósticos, conducta médica, planeación, hasta la valoración de aspectos socio-económicos de los casos.

En el dominio de Salud Pública no existen sistemas que ayuden a la formación de estudiantes y profesionales de la salud relacionados especialmente con los aspectos operativos de cada uno de los programas de Control y Prevención. No existen arquitecturas que permitan incorporar bases de conocimiento médico en grandes sistemas instruccionales. Además, la mayoría de STIs modelan el conocimiento por medio de sistemas de producción de reglas, los cuales poseen grandes desventajas como la dificultad en el proceso de adquisición del conocimiento, el costoso desarrollo y mantenimiento, problemas en el manejo de grandes volúmenes de información y la adaptación de planes instruccionales a nuevos dominios. Nuestra aproximación resuelve estos inconvenientes, al permitir incorporar gran cantidad de conocimiento médico dentro del STI y utilizar como paradigma de aprendizaje el Razonamiento Basado en Casos.

3. Arquitectura General del Sistema de Tutorías Inteligente

La arquitectura que proponemos, está integrada por dos componentes fundamentales. Primero, el sistema SINCO-TB[1] que presenta una solución integrada y flexible que permite mejorar la calidad con sistemas automatizados de manejo de datos clínicos y epidemiológicos sobre los pacientes. En la figura 2 se muestra la arquitectura de SINCO-TB.

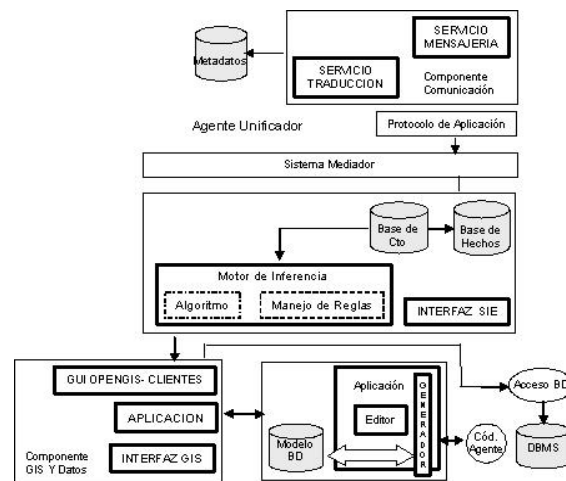


Figura 2. Arquitectura de SINCO-TB

Segundo, el STI presentado en esta comunicación y desarrollado bajo una aproximación multiagente compatible con los estándares de FIPA[8], utilizando Java, JavaScript y XML en diferentes etapas de su programación y teniendo en cuenta las propiedades definidas para el diseño de agentes expuestas en la sección 2.1. Cada uno de los módulos del STI se encuentran distribuidos y subdivididos en partes más pequeñas (agentes), funcionando como entidades autónomas, que se comunican entre sí y actúan racionalmente de acuerdo a sus percepciones del exterior y el estado de su conocimiento. La figura 3 muestra la arquitectura general del Sistema Tutor Inteligente.

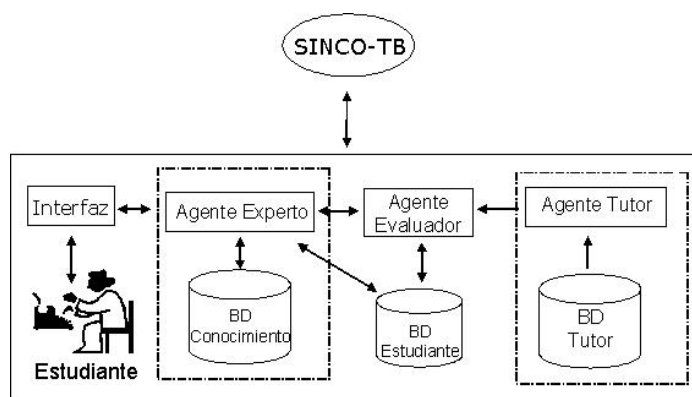


Figura 3. Arquitectura General del Sistema Tutor Inteligente

3.1. Modelo de Agentes en STI

El STI se compone de un conjunto de agentes independientes que intercambian información, usando un lenguaje formal expresivo, y proporcionando modularidad e interoperabilidad. A continuación describimos los agentes que participan en la resolución del problema:

- **Agente Experto:** Guía y controla el proceso de tutorías. Contiene representación del conocimiento experto en los ámbitos relativos a procesos de evaluación, enseñanza-aprendizaje, y metodología de enseñanza. Es el responsable de dirigir la ejecución del proceso teniendo en cuenta los datos introducidos por el alumno.
- **Agente Evaluador:** Evalúa el comportamiento del alumno. Según la evolución del estudiante durante el plan instruccional modifica su perfil o, en caso de ser necesario, solicita al agente tutor la reestructuración del plan instruccional.
- **Agente Tutor:** Razona acerca del comportamiento del alumno. Su objetivo es generar el plan instruccional, de forma que se adapte a las necesidades del estudiante. Las capacidades de razonamiento de este agente, se originan en el paradigma RBC, mencionado en la sección 2.2. La memoria del agente tutor contiene un grupo de elementos, denominados acciones, las

cuales describen el comportamiento del estudiante durante las sesiones de trabajo. Este conjunto de acciones contiene el identificador del alumno, la temática de trabajo según los objetivos a alcanzar y las trazas del estudiante (aciertos, fallos, etc.) durante su aprendizaje. Además, se proporciona una indicación del estado en el que se encuentra el proceso de aprendizaje (terminado o interrumpido) e incluso es posible generar subplanes de trabajo para el alumno a partir del plan ya resuelto. Las acciones descritas anteriormente se representan en la Figura 4.

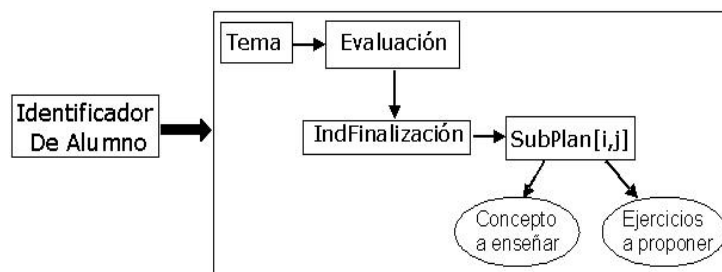


Figura 4. Modelo de Acciones

Las acciones pueden estar divididas en dos grupos: el grupo de acciones incluidas en la memoria de trabajo desde el inicio y otro grupo de acciones que se generan sobre la marcha. Mientras las primeras son genéricas y aplicables a cualquier alumno, las segundas dependen del perfil del estudiante.

En cuanto a la aplicación de métricas de similitud durante la etapa de recuperación, hemos utilizado el algoritmo del K vecino más cercano [9]. De acuerdo al algoritmo podremos encontrar la trayectoria más similar a la analizada, de la cual tomamos el subplan instruccional que se aplicará al alumno. Además, teniendo en cuenta el comportamiento del alumno durante la ejecución del plan, éste podrá ser reestructurado. En la figura 5 se muestra el plan instruccional en su totalidad.

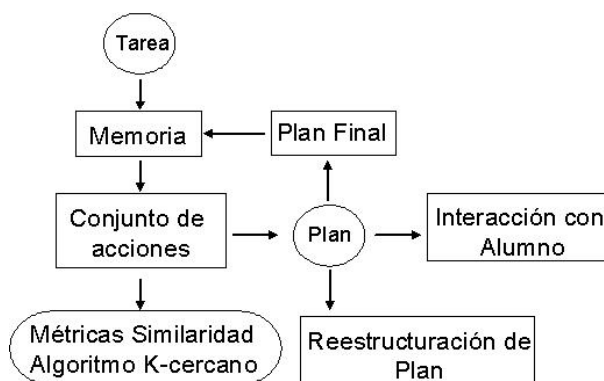


Figura 5. Plan General Instruccional

- **Base de Datos del Estudiante:** Mantiene información acerca del perfil, características, historial y cuerpo de conocimientos del alumno.
- **Base de Datos de Conocimiento:** Contiene la información del dominio con la cual se decide qué tareas se presentan al estudiante de acuerdo a los objetivos de aprendizaje.
- **Base de Datos de Tutor:** Almacena la información correspondiente a procesos de enseñanza-aprendizaje.
- **Comunicación entre agentes:** En la figura 6 se muestra el proceso de comunicación en el sistema. Tras identificar al usuario, el agente experto revisa el perfil del alumno y envía esta información al agente tutor para que construya un plan instruccional. El agente tutor compara cada una de las acciones ejecutadas por el alumno con su plan instruccional y comunica los resultados de su razonamiento al agente evaluador. Finalmente, el agente evaluador actualiza el perfil del estudiante e informa de los cambios realizados al agente experto que realizará las adaptaciones oportunas para continuar con el proceso de aprendizaje.

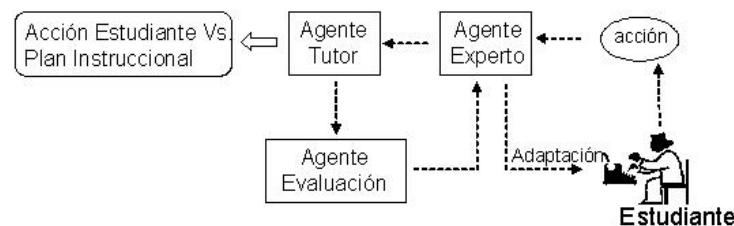


Figura 6. Modelo de Comunicación entre agentes del STI

4. Caso de Estudio. Sistema de Tutorías Inteligente para Tuberculosis STI-TB

Una vez desarrollado el Sistema Inteligente (SINCO-TB), observamos la necesidad de contar con un módulo de capacitación para proporcionar una solución que gestione en su totalidad los planes de Prevención y Control [10]. Para cubrir dicha necesidad se plantea la arquitectura del STI y su validación en el STI-TB, un prototipo de Sistema Tutor Inteligente para Tuberculosis. Se escoge la Tuberculosis teniendo en cuenta que esta enfermedad constituye un problema grave en Salud Pública por el daño que provoca, especialmente en el Departamento del Cauca (Colombia). El desarrollo del Sistema Tutor Inteligente contribuirá en la formación a nivel clínico, epidemiológico y operativo en tuberculosis a partir de información real proporcionada por SINCO-TB.

En la actualidad el proceso de capacitación dentro del Programa de Control y Prevención de Tuberculosis se lleva a cabo de forma lineal, teniendo en cuenta dos perfiles de estudiantes: estudiante de pre-grado y profesional de la Salud. A nivel de estudiantes el

proceso de aprendizaje se caracteriza por el elevado peso de clases magistrales, la escasa presencia de trabajo individual, los pocos trabajos en grupo, y la carencia de atención personalizada debido a recursos escasos y políticas de disminución de costos. Con respecto a los profesionales, no existen planes de formación continua que garanticen la actualización de conocimientos, aumentando errores terapéuticos y por ende el crecimiento de la enfermedad. En la Figura 7 se muestran los casos de uso de la organización.

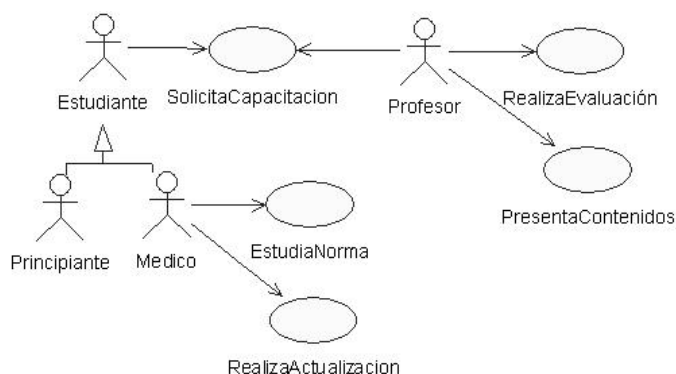


Figura 7. Modelo de Casos de Uso de la Organización

En STI-TB los estudiantes interactúan con el sistema que está compuesto de distintos agentes, que filtran, procesan y evalúan la información de aprendizaje. Dado que los agentes de STI-TB conocen los objetivos de cada alumno e infieren su estilo de aprendizaje, permiten el desarrollo de planes instruccionales personalizados y un aprendizaje adaptativo. La memoria de casos se alimenta con la información de casos reales proveniente del sistema inteligente (SINCO-TB); teniendo en cuenta que dicha información es gestionada de forma que se garantice la privacidad de los datos médicos.

El Sistema de Tutorías Inteligente considera la metodología MAS-CommonKADS[11] que propone siete modelos para la definición del sistema multiagente: agentes, tareas, experiencia, coordinación, comunicación, organización y diseño. La Figura 8 muestra la estructuración de cada uno de los procesos del sistema.

Para la comunicación entre los agentes, se utiliza un subconjunto de las funciones y parámetros definidos en la especificación KQML[12]. El paradigma de razonamiento basado en casos trabaja con la herramienta CBR-Works [13] que permite llevar a cabo un conjunto de pasos para su completo desarrollo.

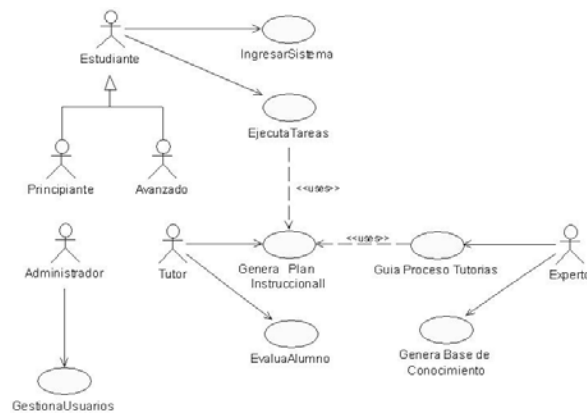


Figura 8. Modelo de Casos de Uso del Sistema

5. Conclusiones y Trabajos Futuros

En este artículo hemos descrito la arquitectura del Sistema Tutor Inteligente (STI-TB), como un sistema multiagente, orientado a la formación de profesionales de la Salud en los Planes de Control y Prevención de enfermedades de alta prevalencia que constituyen un grave problema dentro del dominio de Salud Pública. La arquitectura propuesta soporta varios módulos que, integrados, permiten la mejora en los procesos de aprendizaje dentro del dominio médico que requieren de herramientas eficientes y automatizadas.

Los métodos tradicionales de enseñanza utilizan medios lineales que son útiles cuando el contenido está bien estructurado y es sencillo. Sin embargo, cuando el contenido se vuelve complejo y se presenta de forma desestructurada, la información significativa se pierde con una aproximación lineal. Los STIs permiten aprender mas fácilmente de forma no lineal y multidimensional.

Dentro de los principales beneficios la arquitectura propuesta, está la incorporación de conocimientos médicos complejos, además de la adaptación a nuevas estrategias o modificaciones según el caso de estudio. Además, la utilización del Razonamiento Basado en Casos como paradigma de aprendizaje, contribuye a una mayor asimilación del conocimiento y por ende a la mejora de la calidad de los Planes de Control y Prevención. El desarrollo del STI bajo una aproximación multiagente permite gestionar adecuadamente la complejidad inherente a este tipo de dominios de aplicación.

Como trabajo futuro se pretende evaluar el prototipo de STI actual con estudiantes y profesionales de medicina para validarlo y mejorar su robustez. Además, pretendemos extender el conocimiento del subdominio de tuberculosis al conjunto de enfermedades de alta prevalencia. Finalmente, buscamos comprobar la efectividad de nuestro trabajo determinando cómo impacta el uso de estas técnicas en el aprendizaje del estudiante, comparando el uso de STIs frente a tutores humanos.

Referencias Bibliográficas

- [1]. González, S. C., Vidal, R. J. & Martínez, J.F. (2003). *SAD-EPI: Enfoque Arquitectónico Integrado para la toma de decisiones en Salud*. Ponencia presentada en el III Congreso Iberoamericano de Telemática. CITA'03. Montevideo, Uruguay.
- [2]. Carbonell, J.G., Michalski, R.S. & Mitchell, T.M. (1983). *An Overview of Machine Learning*. Morgan Kaufmann Publishers, Inc., Vol. I, Chapter 1.
- [3]. Clancey, WJ. (1982). Overview de GUIDON. *Journal of Computer-Based Instruction*, 10(1/2), 8-15.
- [4]. Davis, R., Buchanan B. & Shortliffe, E. (1984). *Production Rules as a Representation for Knowledge-Based Consultation Programs*. Readings in Medical Artificial Intelligence: The First Decade, pages 98-130. Addison Wesley.
- [5]. Azevedo, R. & Lajoie, SP. (1998). The cognitive basis for the design of a mammography interpretation tutor. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 9, 32-34.
- [6]. Rogers, E. (1995). VIA-RAD: a blackboard-based system for diagnostic radiology. *Journal of Artificial Intelligence in Medicine*, 7(4), 343-60.
- [7]. Aamodt, A. (1994). *Explanation-Driven case based reasoning*. In S. Wess, K Althoff, M. Ritcher. (eds.): *Topics en Case-based reasoning*, Springer Verlag, 274-288.
- [8]. Nicol, R. & O'brien. (2003). FIPA-Towards a Standard for Software Agents. Extraído el 23 Mayo, 2004, de <http://www.bt.com/bttj/vol16no3/06.pdf>.
- [9]. Reyes, & Sison, R. (2002). *Using Case-based Reasoning Approach in Planning Instructional Activities*. In Proceedings of the Seventh Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence, 502-511.
- [10]. OPS/OMS. (2000). Desafíos de la educación en salud pública. La reforma sectorial y las funciones esenciales de la salud pública. División de Desarrollo de Sistemas y Servicios de Salud. Washington DC.
- [11]. Sánchez, A., Medina, María. & Castellanos, N. (2004). Ontological Agents Model base on MAS-CommonKADS methodology. *Proceedings of the 14th International Conference on Electronics, Communications and Computers*. (Veracruz, México). IEEE Computer Society Press.19-23.
- [12]. May, J., Labrou, Y. & T, Finin. (1996). *Evaluating KQML as an agent communication language*. Intelligent Agents II, Lecture Notes in Artificial Intelligence 1039, 347-360, Berlin, Germany, Springer.
- [13]. Mendes, E., Mosley, N. & Watson L. (2002). *A comparison of case-based reasoning approaches*. Proceedings of the eleventh international conference on WWW. (Honolulu, Hawaii). IEEE Computer Society Press. 272-280.