

# STI-E: UN SISTEMA TUTOR INTELIGENTE PARA ENSEÑAR A RESOLVER PROBLEMAS DE ELECTRONICA

Hernández J., Plácido A. y Martín F.

Universidad de Las Palmas de G.C.  
Departamento de Informática y Sistemas  
Campus Universitario de Tafira  
35017 Las Palmas de G.C.

Tfno: (928) 458706-07

Fax: (928) 458711

e-mail: [aplacido@halley.dis.ulpgc.es](mailto:aplacido@halley.dis.ulpgc.es)

## RESUMEN

*En este artículo, se presenta un modelo de sistema tutor inteligente para enseñar a resolver una tipología específica de problemas de electrónica, justificando las aportaciones que esta aproximación tecnológica, enmarcada en la ciencia cognitiva, puede hacer en el ámbito de la enseñanza de la electrónica.*

## 1. INTRODUCCION

La calidad en la enseñanza está condicionada tanto por los recursos didácticos disponibles como por la información que se tenga acerca del estudiante. En el ámbito de la electrónica, al igual que en el de otras disciplinas de conocimiento, cuanta más información se tenga de lo que sabe el alumno respecto al dominio a enseñar, y de cómo es, respecto a factores que puedan condicionar el aprendizaje, mejor se podrá conducir la tarea de enseñanza, ya que se sabrá con más precisión qué hay que enseñarle y cómo sería más apropiado hacerlo.

Por tanto, un requerimiento importante es la disponibilidad de la tecnología necesaria para poder efectuar esta tarea. Los entornos de enseñanza asistida por ordenador inteligentes (ICAIs), más conocidos como Sistemas Tutores Inteligentes, constituyen el marco de desarrollo de las tareas de investigación en este terreno.

La consideración de técnicas de inteligencia artificial (IA) en el desarrollo de entornos educativos ha dado lugar a una de las áreas de investigación más importantes de las últimas dos décadas, los sistemas tutores inteligentes, en adelante STIs. El desarrollo de los STIs se

apoya en la combinación de tres áreas de conocimiento muy importantes: Ciencias de la computación (IA), Psicología cognitiva e Investigación educativa. La intersección de las mismas da paso a la ciencia cognitiva, marco teórico de desarrollo de los STIs.

Este tipo de sistemas intenta proporcionar un comportamiento lo más parecido al de un tutor real, teniendo por tanto que saber *qué* tiene que enseñar, a *quién* se lo va a enseñar y *cómo* ha de hacerlo. Los STIs se diseñan y desarrollan para un dominio de tutorización particular. Han de contener todo el conocimiento sobre el dominio para poder enseñar correctamente a un estudiante. Han de poder conocer al estudiante lo mejor posible para poder enseñarle de la forma más adecuada; para ello habrá que conocer las actitudes y aptitudes que presenta frente al dominio de tutorización. Y por último, han de conocer las estrategias de tutorización más adecuadas para aplicarlas en cada caso particular en función de cómo sea el estudiante que va a ser tutorizado. De esta forma, se pretende conseguir una tutorización eficaz asegurando el aprendizaje por parte del alumno.

El trabajo de investigación, que presentamos en este artículo, se enmarca en esta línea de trabajo y en particular en el diseño y desarrollo de STIs para la *resolución de problemas en electrónica*, en adelante STI-E, haciendo especial énfasis en la potenciación de la capacidad para resolver problemas. Se describen las funciones que debe llevar a cabo el sistema con el objetivo de enseñar al estudiante, así como la arquitectura que da soporte a las mismas.

## 2. FUNCIONES DEL STI-E

Antes de enseñar a un estudiante a resolver un circuito hay que modelarlo para conocer qué sabe al respecto, y a medida que se le enseña será necesario volverlo a modelar para comprobar si ha aprendido el conocimiento que le ha sido impartido. Por tanto, las tareas principales son dos: *modelar* y *enseñar*, las cuales se llevan a cabo alternativamente a lo largo de la sesión tutorial.

El modelado de estudiante consiste en obtener una representación fiable de un estudiante particular, la cual estará en función tanto de las actitudes y aptitudes que presente frente a un dominio de conocimiento concreto como de información personal acerca de dicho estudiante. Esta representación constituye por tanto el *modelo de estudiante*, el cual permitirá en el contexto de los sistemas tutores inteligentes para la resolución de problemas en electrónica, predecir el comportamiento del estudiante ante situaciones nuevas que se le planteen. La integración del modelado de estudiantes en la arquitectura de un STI responde a la necesidad de desarrollar una tutorización más personalizada y por tanto más efectiva, al permitir al sistema ajustarse a los requerimientos de aprendizaje de un estudiante particular.

Para obtener el modelo de un estudiante, será necesario obtener evidencias de su comportamiento ante situaciones concretas que se le planteen, por tanto habrá que proponerle problemas a resolver. Cuanta más información se obtenga, más fiables serán las suposiciones respecto a lo que ha hecho el estudiante, puesto que el sistema partirá de más información para poder modelarlo.

También es necesaria cierta información sobre aspectos que identifiquen de manera más personalizada el comportamiento del estudiante frente al dominio de la electrónica, con el fin de obtener un modelo de estudiante que sea lo más real posible. Se trata de obtener un *perfil psicológico* del estudiante.

Por otra parte, se puede complementar el conocimiento acerca del estudiante actual estableciendo analogías entre dicho estudiante y estudiantes que hayan sido tutorizados anteriormente. Este conocimiento complementario está basado en suposiciones de las que no se tienen evidencias y que por tanto se irán verificando a lo largo de la sesión tutorial.

La generación del modelo de estudiante requiere la obtención previa de un *modelo de situación específica* que represente únicamente información obtenida a partir de los problemas resueltos. Este modelo representará *qué ha hecho* el estudiante para resolver un circuito y vendrá representado en función de lo que hubiera hecho un estudiante ideal capaz de resolver dicho problema.

Por tanto, el modelo de estudiante se obtendrá a partir del perfil psicológico obtenido y del modelo de situación específica, así como del modelo de estudiante ideal y de información adicional acerca de estudiantes parecidos.

A continuación, a partir del modelo de estudiante actual y del modelo de estudiante ideal que se pretende alcanzar, se utilizarán las estrategias didácticas más adecuadas para *enseñar* al estudiante el conocimiento correspondiente. Una estrategia didáctica implica la secuencia de pasos a realizar para enseñar algo, pudiendo no ser la misma para todos los posibles tipos de estudiantes que se puedan presentar. La elección de una estrategia dependerá del perfil psicológico del estudiante comprendido en el modelo de estudiante correspondiente.

El sistema tutor que se presenta está orientado hacia la potenciación de la capacidad cognoscitiva de resolver problemas [1][2]. Más que enseñar un dominio de conocimiento concreto, se pretende que el alumno aprenda las heurísticas de la resolución de problemas: descomposición en subproblemas, transformación de problemas, acercamiento progresivo a la solución...

La imposibilidad del sistema tutor para evaluar que el alumno ha aprendido el conocimiento de modo significativo, aconseja que este tipo de enseñanza se oriente más a la potenciación de habilidades cognitivas para la resolución de problemas que a la enseñanza de un dominio concreto de conocimiento. Por tanto, este STI más que enseñar conceptos de electrónica, proporciona al alumno estrategias para la resolución de problemas de electrónica.

Los recursos didácticos que se emplean pueden clasificarse en dos grupos: *métodos expositivos* y *métodos por descubrimiento*. En los *métodos expositivos*, el STI-E en un modo algo *autoritario*, muestra la información que se pretende hacer llegar al alumno, por ejemplo, mostrando en un texto el significado de un concepto o un ejemplo de cómo se resuelve un problema. Este método, ampliamente usado, tiene la ventaja de la simplicidad de su implementación. Su mayor defecto es no poder evaluar si esta información está siendo

interpretada correctamente y por tanto comprendida por el alumno. Además, se corre el riesgo de que el alumno automatice o memorice unas ideas, en el mejor de los casos, o se aburra del sistema en el peor de los casos.

En los *métodos por descubrimiento*, se pretende que el alumno pueda interactuar activamente en la resolución del problema modificando las condiciones y/o pidiendo ayuda al sistema cuando lo requiera. En este sentido, es fundamental que el STI tenga la capacidad de resolver problemas para asistir al alumno cuando lo necesite, indicándole objetivos a desarrollar o resolviendo aquellas partes del problema que el alumno no sea capaz de resolver. Se pretende que sea el alumno el que se enfrente con el problema y que disponga de una serie de recursos, como puede ser la ayuda del tutor, para resolverlo.

### 3. EL MODELO DE ESTUDIANTE EN EL STI-E

El modelo de estudiante, en el entorno de los sistemas tutores inteligentes, es la *imagen* que el sistema tiene del estudiante, entendiendo el término *imagen* como *posible interpretación de la realidad*. Este modelo representa al estudiante desde dos perspectivas diferentes; por una parte *como* el conocimiento que éste tiene sobre el dominio, en particular el dominio de resolución de problemas de electrónica, y por otra *como* el conocimiento acerca de aspectos psicológicos característicos que condicionan el proceso de aprendizaje.

El modelo de estudiante permitirá al sistema conocer a priori el comportamiento del estudiante, es decir, saber qué es capaz de hacer ante situaciones parecidas a las que le hayan sido planteadas previamente.

El *conocimiento sobre el dominio* es lo que el estudiante sabe acerca de lo que se le pretende enseñar. En el tipo particular de sistemas tutores inteligentes en el que se enmarca el modelo de estudiante propuesto, el dominio de tutorización es *la resolución de problemas de electrónica*.

En líneas generales, el dominio de la resolución de problemas se constituye como la combinación de un lenguaje basado en un *cálculo* definido a priori y las posibles *estrategias* que se puedan plantear para resolver el problema. Básicamente, un cálculo es una pura estructura, un sistema de relaciones que se compone de [3]:

- Un conjunto de elementos primitivos, llamados a menudo *símbolos elementales*. Ellos constituyen las piezas a manejar dentro del sistema. Es absolutamente esencial señalar que este conjunto de símbolos primitivos ha de estar definido de un modo efectivo. Un conjunto está definido de manera efectiva cuando se puede decir, ante un objeto cualquiera, si ese objeto es o no es miembro del conjunto en cuestión.
- Un conjunto de reglas, *reglas de formación o de construcción* que establecen cuáles son las combinaciones correctas posibles de esos símbolos elementales. El conjunto de las reglas de formación ha de proporcionar una definición efectiva de la noción

de *expresión bien formada del cálculo*, de tal modo que sea posible, ante cualquier combinación de símbolos, decidir si es o no una fórmula bien construida.

- Un conjunto de *reglas de transformación*. Aplicándolas, se puede transformar una combinación bien construida de símbolos en otra combinación que resultará igualmente bien construida. Como los conceptos de símbolo primitivo y de fórmula o expresión bien formada, el concepto de transformación ha de quedar definido de una manera efectiva, en el sentido de que ha de ser posible en todos los casos dictaminar si una transformación ha sido efectuada correctamente.

Un cálculo no es, por tanto, un lenguaje, en la medida en que no es un medio de comunicación, sino un puro armazón sintáctico. Sus elementos carecen de significado. No son signos sino entidades opacas que manipulamos de acuerdo con una serie de reglas. Se puede, sin embargo, transformar un cálculo en un lenguaje, y esto se consigue *interpretando* sus símbolos, es decir, proveyendo a sus símbolos de un significado.

Por otra parte, la *estrategia* es la capacidad para vislumbrar posiciones más ventajosas (subobjetivos) a partir de las cuales sea más fácil alcanzar los objetivos.

Desde este punto de vista, el dominio de tutorización, para el caso particular de resolución de problemas, implica dos tipos de conocimiento: conocimiento conceptual y conocimiento procedural. El *conocimiento conceptual* es el conocimiento acerca de la sintaxis y la semántica para representar el espacio del problema, identificando en qué términos se describe (léxico), qué construcciones son válidas (sintaxis) y qué significado tienen (semántica). En definitiva constituye el *lenguaje* para representar los distintos pasos que llevan a la solución del problema. El léxico y la sintaxis se identifican con la simbología y las reglas de formación del cálculo respectivamente. La simbología permite representar conceptos y las reglas de formación crear conceptos complejos a partir de conceptos simples. En el STI-E, el conocimiento sintáctico es el que permite representar y evaluar los circuitos. La representación que hace el estudiante del circuito es gráfica; para ello usa un editor vectorial en el que representa las distintas componentes del mismo (pilas, resistencias...).

$C :- \{ c (T, p1, p2) \}$  [1]

$T :- r \mid p+ \mid p-$  [2]

Las reglas de la gramática son las reglas de formación del cálculo. El estado de evaluación del circuito es representado a través de la siguiente gramática:

$E :- \{ I \mid V \}$  [3]

$I :- i (T, valor)$  [4]

$V :- v (p1, p2, valor)$  [5]

El analizador sintáctico debe comprobar la conectividad de todas las partes del circuito y la consistencia de los valores que describen el estado del mismo.

Por otra parte, el conocimiento semántico está asociado a cada uno de los símbolos terminales y no-terminales de la gramática. Este esquema de representación del conocimiento conceptual del alumno es válido para los niveles de conocimiento que se han considerado en el STI-E (ver apartado 4).

EL *conocimiento procedural* es el conocimiento acerca de cómo aplicar las habilidades (operaciones) conocidas y/o las estrategias posibles para la consecución de un objetivo. Las habilidades se corresponden con las reglas de transformación del cálculo y se aplican sobre un estado (combinación de símbolos) para obtener otro estado en la resolución del problema. El conocimiento estratégico permite determinar cómo subdividir un objetivo en subobjetivos permitiendo que se afronte de manera más sencilla (Descartes 1637, *método cartesiano*). Básicamente, se pretende enseñar al alumno estrategias para la resolución de problemas. Estas estrategias pueden clasificarse en dos tipos:

- *Estrategias de transformación*. El alumno debe transformar el problema actual en otro problema que pueda resolver, con las heurísticas/operaciones que conoce.
- *Estrategias de identificación*. El alumno transforma un problema en otro, evalúa parcialmente el estado del nuevo circuito y reutiliza la solución del problema transformado en el problema original.

El conocimiento estratégico-táctico del STI-E varía en función del nivel de conocimiento en el que se haya clasificado al estudiante (ver apartado 4).

El modelo de estudiante no representa únicamente lo que sabe el alumno, también considera otros aspectos acerca de quién y cómo es con el fin de tener una imagen más completa y por tanto más fiable del mismo. Estos aspectos se engloban en tres tipos de variables: cognitivas, sociales y personales, las cuales definen lo que hemos denominado *perfil psicológico del estudiante*. La consideración de un perfil psicológico condiciona el proceso de tutorización, ya que éste no será el mismo en el caso de estudiantes que tengan conocimientos en el dominio parecidos pero perfiles psicológicos diferentes. En realidad, no todos los estudiantes pueden ser tutorizados de la misma forma ya que no todos aprenden con la misma facilidad.

En el caso particular de un sistema tutor para la resolución de problemas de electrónica, un primer borrador de este perfil se obtiene a partir de unos test específicos que se le pasan al alumno al comienzo de la sesión tutorial; a medida que avanza dicha sesión el perfil psicológico se irá consolidando. Los aspectos que deberían ser evaluados directamente para obtener el perfil del estudiante son los siguientes:

- *Variables cognitivas*. Dependencia/independencia de campo, capacidad mental y variables instruccionales.
- *Variables sociales*. Edad, tipo de centro donde cursa sus estudios, curso y calificaciones anteriores.
- *Variables personales*. Sexo y ansiedad rasgo.

Las variables psicológicas se definen como cualquier característica del sujeto que funciona

selectivamente con respecto al aprendizaje [4], es decir, que facilita o interfiere con el aprendizaje efectuado sobre la base de algún método instructivo convenientemente diseñado [3]. Las variables sociales y personales proporcionarán información acerca del nivel de aprendizaje del estudiante condicionando el proceso de aprendizaje.

El modelo de estudiante se representa mediante tres modelos: conceptual, procedural y psicológico. El *modelo conceptual* representa el conocimiento conceptual, el *modelo procedural* representa el conocimiento procedural y el *modelo psicológico* representa el perfil psicológico.

Un aspecto clave para poder entender el modelo de estudiante es conocer el sistema de representación elegido. Por otra parte, hay que tener en cuenta que el modelo no sólo ha de ser entendido por la máquina, debería considerarse la posibilidad de que también lo fuera por el ser humano.

#### 4. NIVELES DE CONOCIMIENTO EN EL STI-E

El objetivo del STI-E es ayudar al estudiante a resolver circuitos eléctricos haciendo uso del *teorema de Thévenin*, y enseñarle, siempre que sea necesario, el conocimiento conceptual y procedural correspondiente. Por tanto, ambos conocimientos han de estar comprendidos en el STI-E. Para ello, se definen niveles de conocimiento sucesivos sobre los que se hace progresar al alumno, siguiendo una metodología de enseñanza estructurada en unidades de complejidad creciente.

El *conocimiento conceptual* necesario para poder resolver circuitos aplicando el teorema de Thévenin [4] se describe a continuación y es el mismo para todos los niveles de conocimiento.

"El teorema de Thévenin consiste en reducir un circuito multimalla con resistencia de carga a un circuito de una sola malla con la misma resistencia de carga. En el circuito equivalente de Thévenin, la resistencia de carga ve una sola resistencia en serie, con un generador de tensión. La tensión Thévenin es aquella tensión que aparece entre los terminales de la carga cuando se desconecta la resistencia de carga. Debido a esto, la tensión Thévenin recibe a veces el nombre de tensión de circuito abierto. La resistencia Thévenin es aquella resistencia que se ve desde los terminales de carga cuando todas las fuentes se han anulado. Esto significa que hay que sustituir las fuentes de tensión por cortocircuitos y las fuentes de corriente por circuitos abiertos."

El *conocimiento procedural* se podría describir de la siguiente forma [4]:

"En un circuito real, su tensión Thévenin se puede medir como sigue. Se desconecta la resistencia de carga y después se emplea un voltímetro para medir la tensión en los terminales de carga. La lectura que se obtenga es la tensión Thévenin. Este hecho presupone que no habrá un error de carga en el voltímetro; es decir, la resistencia de entrada del voltímetro es

mucho mayor que la resistencia Thévenin. Por otra parte, la resistencia Thévenin se mide como sigue. Se anulan todas las fuentes. Desde el punto de vista físico, ello significa sustituir las fuentes de tensión por cortocircuitos y abrir o quitar las fuentes de corriente. Después de haber anulado las fuentes, la resistencia entre los terminales de carga se mide con un óhmetro. Esa es la resistencia Thévenin."

En la figura 1a y 1b se representan el primer y segundo nivel de *conocimiento estratégico* definidos respectivamente en el STI-E.

Por último, hay que destacar que el *perfil psicológico* es siempre el mismo independientemente del dominio de tutorización elegido, ya que las variables psicológicas seleccionadas son válidas para modelar las capacidades cognitivas en la resolución de problemas, independientemente del área de conocimiento.

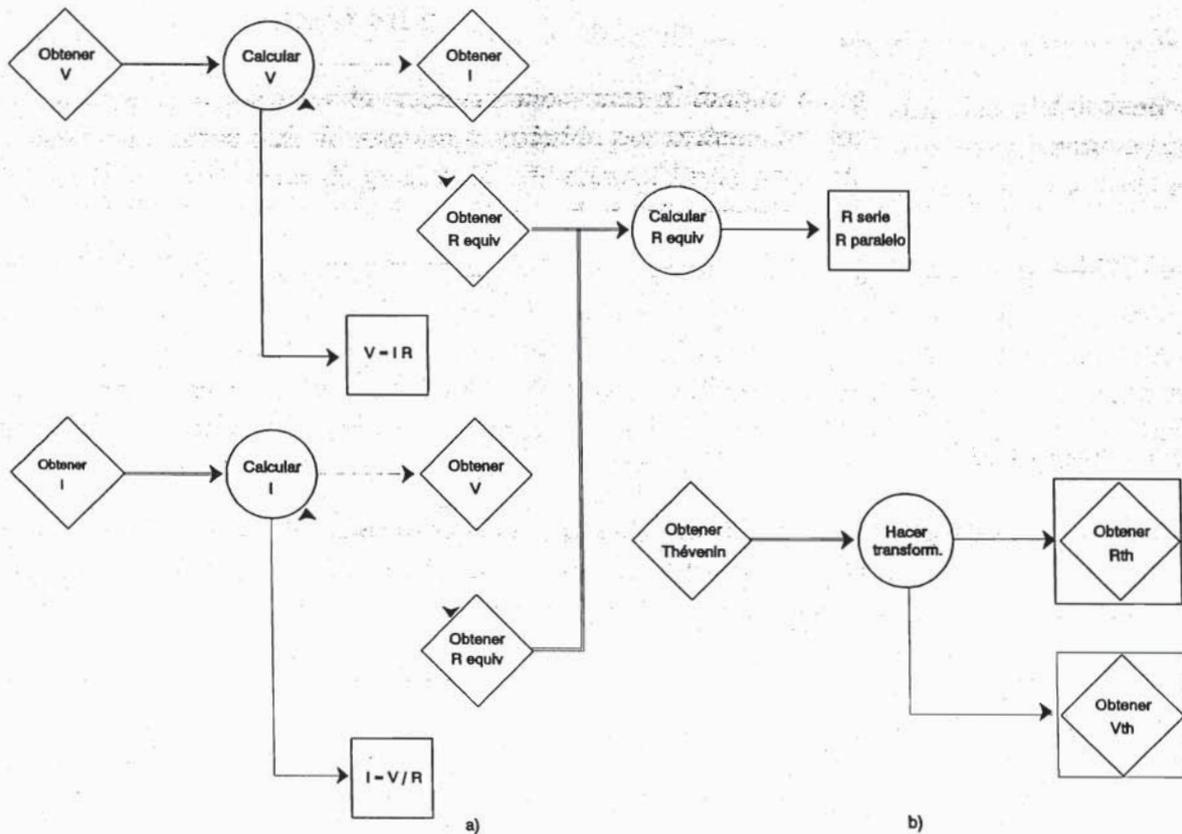


Figura 1. Niveles de conocimiento estratégico

## 5. ARQUITECTURA DEL STI-E

La arquitectura del STI-E que se propone, se compone de cinco módulos fundamentales que interactúan entre sí, la *Interface Inteligente*, el *Módulo de Interpretación*, el *Modelador*, un *Sistema de Gestión de Bases de Prototipos* y el *Módulo Tutor* (figura 2).

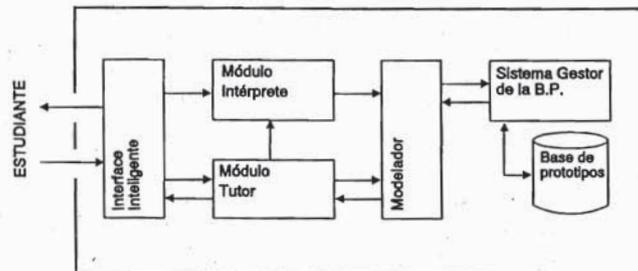


Figura 2. Arquitectura del STI-E

El objetivo de integrar una interface inteligente en el STI-E, es conseguir que la estrategia de comunicación con el estudiante, usuario de esta aplicación concreta, se pueda adaptar al tipo de estudiante con el que está interactuando el sistema. Con ello se pretende que la interface, dependiendo del modelo de estudiante obtenido, sepa cual es la mejor estrategia de presentación para transmitirle al estudiante el conocimiento deseado.

El proceso de interpretación de la respuesta del estudiante, llevado a cabo por el módulo de interpretación, es una de las funciones principales del STI. Mediante este proceso se pretende averiguar qué ha hecho el estudiante para resolver el circuito propuesto por el sistema. La interpretación se basa en suposiciones consideradas a partir de lo que hubiera hecho un estudiante capaz de resolverlo, es decir, un estudiante ideal. Para llevar a cabo este proceso el sistema necesita tener evidencias del estudiante, la *respuesta del estudiante* es la evidencia fundamental para que la interpretación pueda efectuarse. Además, se necesita el modelo de estudiante ideal correspondiente, es decir el modelo de conocimiento que debería tener el estudiante para resolver el problema propuesto. Este modelo le será proporcionado por el módulo tutor. La salida que proporciona el proceso de interpretación es el conocimiento acerca de los hechos, el cual se representa mediante un modelo denominado *modelo de situación específica (MSE)*.

El modelador se encargará de obtener el *modelo de estudiante* a partir del modelo de situación específica y de los prototipos de estudiantes devueltos por el sistema gestor de la base de prototipos. El modelo de situación específica representa las evidencias de lo que se ha comprobado que sabe el estudiante. Por otro lado, los prototipos proporcionan las suposiciones de lo que debe saber el estudiante basándose en experiencias pasadas. En el razonamiento sobre los modelos de estudiantes se deben considerar pues, tanto evidencias como suposiciones.

Por último, el módulo tutor será el responsable de conducir la sesión tutorial a partir del modelo de estudiante que le proporciona el modelador. La sesión tutorial se organiza entorno al modelo de estudiante ideal, al cual se pretende llevar al estudiante real. Se trata de tutorizaciones dirigidas por objetivos concretizados en estudiantes ideales.

Esta arquitectura está funcionalmente integrada de manera que pueda simular el comportamiento de un tutor, puesto que las tareas identificadas en tutores, en el área de resolución de problemas, se corresponden con cada uno de los módulos expuestos. La *Interface inteligente* representa las habilidades comunicativas; la capacidad para captar la atención y construcción de mensajes reconocibles e interpretables por el estudiante. El *Módulo intérprete* representa la capacidad para entender la respuesta proporcionada por el alumno a un problema propuesto. La interpretación de la respuesta se ha identificado que se realiza en diferentes planos de conocimiento: estratégico-táctico, operacional, sintáctico, conceptual y psicológico. El *Modelador* representa la capacidad del tutor para formarse una imagen mental del estudiante con el que está tratando, a partir de las evidencias y suposiciones presentadas. Normalmente este modelo mental del estudiante no es estático, sino que evoluciona por la propia tutorización a la que se somete el alumno. El *Módulo tutor* es la capacidad para organizar lecciones y ejercicios para conseguir habilidades y conceptos en la resolución de problemas. El *Sistema gestor de la base de prototipos y la base de prototipos* se fundamentan en las teorías cognitivas del prototipo formuladas por Rosch y Posner [5],[6]. La capacidad para aprender a tutorizar e identificar más eficientemente a los alumnos se basa en la organización de experiencias pasadas en categorías de estudiantes. Estas categorías vienen representadas por prototipos.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] J.S. Bruner. "The act of discovery". Harvard Educational Review, 31, pp. 21-32, 1961.
- [2] J.R. Suchman. "Inquiry training: building skills for autonomous discovery". Merrill-Palmer Quarterly of Behaviour and Development, 7, pp. 148-169, 1961.
- [3] A. Deaño. "Introducción a la lógica formal". Ed. Alianza Universidad Textos, 1990.
- [4] A. Malvino. "Principios de electrónica". Ed. McGraw-Hill, 1992.
- [5] E. Rosch. "Cognitive representation of semantic categories". Journal of experimental psychology: General, 104, pp. 192-223, 1975.
- [6] M. Posner & S. Keele. "On the genesis of abstract ideas". Journal of experimental psychology, 77 (3) pp. 353-363, 1968.