

Un Sistema Híbrido de Planificación Instruccional Automejorado

J.A. Elorriaga, I. Fernández-Castro

**Lengoaia eta Sistema Informatikoak Saila
Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos
Euskal Herriko Unibertsitatea - Universidad del País Vasco
649 Postakutxa, E-20080 Donostia
Teléfono: 943-218000 Fax: 943-219306
e-mail: jibelarj@si.ehu.es**

Durante las dos últimas décadas se han utilizado técnicas de Inteligencia Artificial en la construcción de sistemas de enseñanza asistidos por ordenador. En concreto, las técnicas de planificación inteligente se han utilizado con éxito para la construcción dinámica del plan de enseñanza (planificación instruccional). Sin embargo aún existe una laguna en cuanto a la consecución de sistemas de enseñanza capaces de analizar su comportamiento y aprender de su experiencia.

En este artículo se presenta un Sistema Híbrido de Planificación Instruccional Automejorado que incorpora técnicas de Aprendizaje Automático y basa su funcionamiento en el Razonamiento Basado en Casos. El objetivo global de este trabajo consiste en la obtención de un planificador instruccional genérico dotado de capacidad de aprendizaje y aplicable a Sistemas Tutores Inteligentes ya existentes.

Palabras clave

SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES, APRENDIZAJE AUTOMÁTICO, RAZONAMIENTO BASADO EN CASOS, PLANIFICACIÓN INSTRUCCIONAL.

1. Introducción

El área de los Sistemas Tutores Inteligentes (STIs) incorpora técnicas de Inteligencia Artificial en la construcción de sistemas de enseñanza automáticos. En particular, algunos de estos programas educativos (recopilados en [Elorriaga *et al.*, 95-2]) han utilizado técnicas de Aprendizaje Automático (AA, *Machine Learning*) con el ánimo de lograr dos objetivos: modelar al estudiante y construir Sistemas Tutores Inteligentes AutoMejorados (STIAMs).

En cuanto al primer objetivo, el Modelo del Alumno es la clave para una enseñanza por ordenador personalizada. Se han construido modelos del alumno que incorporan algunas técnicas de AA, sobre todo deductivas e inductivas, para simular el proceso de aprendizaje del estudiante. Aunque se ha cuestionado la validez psicológica de este modelado, resulta útil para lograr una mejor adaptación a cada alumno [Self, 88] aún asumiendo que no es totalmente exacto. Estos modelos también se han utilizado para otras aplicaciones como [VanLehn *et al.*, 94]: sistemas de entrenamiento de profesores, simulaciones de

compañeros de estudios, sistemas tutores basados en la estrategia de "aprender enseñando" (*learning by teaching*) e incluso para la evaluación formativa de los sistemas de enseñanza automáticos.

En cuanto al segundo objetivo, los STIAM utilizan las técnicas de AA para mejorar su rendimiento a partir de la experiencia [Elorriaga *et al.*, 95-2]. Estos tutores adquieren información a partir de la interacción con los estudiantes y son capaces de generalizar este conocimiento para utilizarlo en sesiones de enseñanza posteriores. En general, cada módulo funcional de un sistema automejorado es capaz de evaluar, respecto a ciertos parámetros, el resultado conseguido y

almacenar esta información para guiar futuras decisiones. Así, el Modelo del Tutor experimenta sus estrategias pedagógicas y, tras evaluar su resultado, infiere en qué casos utilizar cada una de ellas de forma óptima [Dillenbourg, 89]. El Módulo del Dominio se enriquece incorporando información obtenida de los alumnos [Kimball, 82], por ejemplo nuevas soluciones no contempladas previamente. Con respecto al Modelo del Alumno, éste aprende los comportamientos típicos y errores a partir de la interacción con los alumnos [Sleeman *et al.*, 90]. Por último el Módulo de Diálogo puede ser sensible a las preferencias que muestran los alumnos y ajustar el interfaz de acuerdo a ellas [Maes y Kozierok, 93].

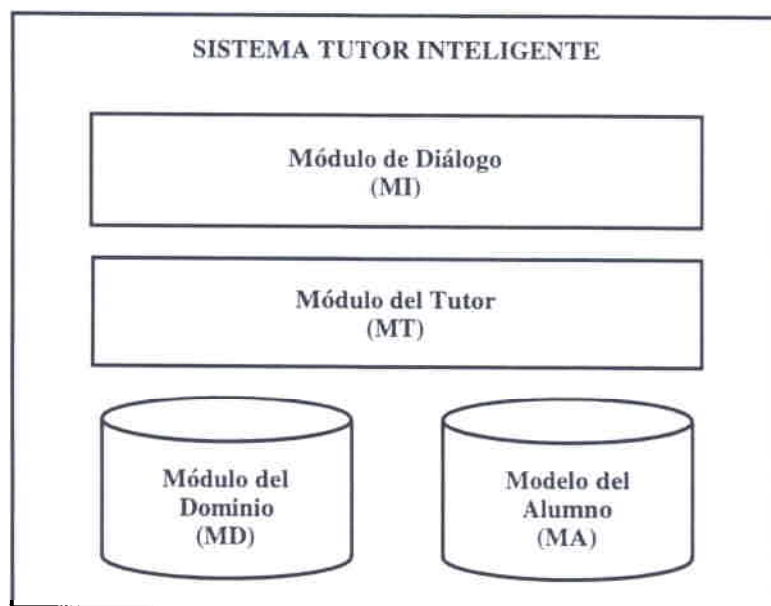


Figura 1: Arquitectura básica de un STI.

A pesar de presentarse como un campo de investigación interesante, la literatura refiere sólo un pequeño número de STIAMs [Gutstein, 92; Dillenbourg, 89; MacMillan y Sleeman, 87; Kimball, 82; O'Shea, 82]. La mayor parte de los tutores de este tipo son sistemas basados en reglas cuya capacidad de automejora consiste en la alteración de las reglas de decisión pedagógica. De hecho, la gran mayoría de los STIs han sido diseñados como sistemas expertos basados en reglas, a pesar de la dificultad de codificar la experiencia de enseñanza a través de sistemas de producción. Debido a que esta forma de representación del conocimiento pedagógico no es natural al profesorado, la construcción de los sistemas de enseñanza se convierte en una difícil tarea que debe involucrar

tanto a profesores como a ingenieros del conocimiento. Por esto también, es difícil encontrar sistemas de enseñanza que puedan ser adaptados a nuevos dominios y a nuevas formas de enseñanza únicamente por profesores sin una gran experiencia informática.

El procedimiento típico de automejora de los STIAMs consiste en evaluar el resultado que producen las decisiones pedagógicas tomadas y modificar en consecuencia las reglas de producción. Nosotros consideramos que este procedimiento resulta más fácilmente aplicable a sesiones de enseñanza completas que a decisiones pedagógicas puntuales, ya que siendo difícil discernir el resultado exacto de decisiones individuales, si es posible sacar

conclusiones bastante acertadas sobre sesiones completas utilizando la información inferida de los tests y ejercicios realizados.

Partiendo de estas bases, en este artículo, proponemos un enfoque diferente para la construcción de STIAMS que consiste en la aplicación conjunta de varias técnicas de AA en la tarea de planificación instruccional. La técnica básica que se utiliza es el *Razonamiento Basado en Casos* (RBC, *Case-Based Reasoning*), que se potencia con otras técnicas como el *aprendizaje por observación* y el *aprendizaje por refuerzo*. El objetivo global de este trabajo consiste en la presentación de un sistema híbrido de planificación instruccional automejorado que pueda ser aplicado a diferentes STIs.

Este artículo ha sido estructurado de la siguiente forma: la sección 2 describe el planificador instruccional basado en casos en el que se basa nuestra propuesta y presenta un ejemplo de aplicación de dicho planificador; la sección 3 presenta el sistema híbrido de planificación que resulta de la integración del planificador instruccional basado en casos en un tutor existente y finalmente, en la sección 4 exponemos nuestras conclusiones y perspectivas futuras.

2. Planificación Instruccional Basada en Casos

El Razonamiento Basado en Casos (RBC) surge al intentar simular una de las formas básicas de razonamiento del ser humano: cuando nos encontramos con un problema a resolver los humanos acostumbramos a evocar situaciones similares con el fin de aplicar la forma de resolución que en su día utilizamos con éxito [Aamodt y Plaza, 94; Kolodner, 93; Riesbeck y Schank, 89; Watson y Marir, 94]. El método de resolución recuperado de nuestra memoria histórica se adapta a la nueva situación y se emplea a continuación. Un *sistema basado en casos* consigue aprender de su propia experiencia almacenando los problemas, sus soluciones y las incidencias que se dieron durante su resolución para su utilización en nuevas situaciones. El RBC se ha empleado para abordar problemas de gran complejidad, por ejemplo problemas de planificación [Riesbeck y Schank, 89].

En el área de la enseñanza asistida por ordenador, la planificación instruccional constituye una de las principales tareas de un STI y debido a la complejidad del conocimiento sobre el que actúa (Modelo del Alumno, Módulo del Dominio) se considera una de las más complejas. Hasta ahora, los mecanismos de planificación utilizados en los STIs necesitaban un modelo de planificación explícito implementado generalmente por medio de sistemas de producción cuya construcción y mantenimiento resultaba difícil y costosa [Watson y Marir, 94].

Una solución para superar estas limitaciones consiste en incorporar una capacidad de automejora a los planificadores actuales. El RBC constituye un mecanismo adecuado para abordar la tarea de planificación a la vez que exhibe una capacidad de aprendizaje inherente a su propio funcionamiento. Varias son las aportaciones en esta línea: Du y McCalla [Du y McCalla, 91] utilizan RBC en su planificador instruccional basado en casos sobre el dominio de las matemáticas pero no aprovechan su capacidad de automejora; en [Khan y Yip, 95] se presenta un gestor de tareas basado en casos asociado a un sistema de enseñanza también basado en casos.

Nuestra propuesta [Elorriaga *et al.*, 95-1] consiste en la integración de un Planificador Instruccional Basado en Casos (PIBC) dentro del Módulo Tutor de sistemas tutores inteligentes ya existentes, de tal manera que el PIBC colabore con el planificador original del sistema (por ejemplo un planificador dinámico oportunista). Esta idea es válida para aquellos STIs que separen la decisión pedagógica de alto nivel del desarrollo de la sesión (por ejemplo [Fernández-Castro *et al.*, 93], [Gutiérrez, 94], [Murray, 90] y [Wasson, 90]).

2.1. Estructura de un Planificador Instruccional Basado en Casos

El Planificador Instruccional Basado en Casos (PIBC) de nuestra propuesta está diseñado como un módulo genérico aplicable a diferentes STIs siguiendo un paradigma de orientación a objetos. PIBC está formado por dos módulos funcionales (Generador y Actualizador) y por una estructura de conocimiento (Memoria de Casos) (ver figura 2). A

continuación describimos brevemente estos componentes:

La **Memoria de Casos (MC)** constituye el almacén de las experiencias del sistema, se encarga de mantener de forma organizada el conjunto de casos que representan las sesiones de enseñanza para agilizar al máximo su recuperación y economizar espacio. Un **caso** está compuesto por el contexto de la sesión de enseñanza, el plan instruccional y el resultado que éste consiguió. Hemos diseñado la MC siguiendo el *modelo de memoria dinámica de Schank* [Schank, 82] e implementado como una *red redundante de discriminación* [Kolodner, 93]. Este modelo organiza los casos en grupos que comparten un conjunto de características comunes formando una estructura que relaciona casos individuales y grupos de casos usando ciertas características discriminantes.

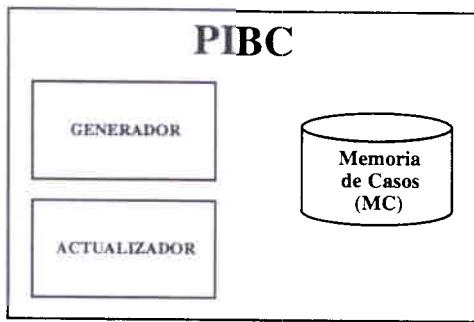


Figura 2: Esquema de PIBC.

El **Generador** se encarga de construir los planes instruccionales que se ejecutarán para llevar a cabo las sesiones de enseñanza y por lo tanto constituye realmente el planificador instruccional. El proceso de construcción se divide en etapas dependiendo de la estructura del plan instruccional (los niveles de los que se compone). En cada una de estas etapas se produce un nivel, generándose el plan completo incrementalmente. Cada etapa se realiza en dos fases que corresponden a las fases típicas del RBC, recuperación y reutilización [Watson y Marir, 94]:

- *Recuperación de sesiones similares*: se analiza la situación instruccional actual para obtener sus atributos relevantes; estos se utilizan como índices para buscar en la MC y obtener casos que representen sesiones de enseñanza similares.

- *Adaptación a la situación actual*: los casos recuperados se modifican para obtener un plan de sesión adecuado a las características de la sesión actual.

El **Actualizador** modifica la MC incluyendo los casos referentes a las sesiones de enseñanza que se van efectuando. Este módulo desarrolla una función de aprendizaje al incorporar las experiencias del PIBC para su uso posterior. Esta tarea se ejecuta según las dos últimas fases del RBC, revisión y almacenamiento [Watson y Marir, 94]:

- *Revisión del resultado de la sesión*: cada vez que se aplica un plan instruccional en una sesión, se realiza una valoración objetiva de su resultado a través del análisis de los cambios que ha experimentado el Modelo del Alumno y de los datos de interacción recopilados durante la sesión, por ejemplo: peticiones de información y errores que el estudiante ha realizado. Asimismo, el Actualizador pregunta al alumno su opinión sobre la sesión. La respuesta del alumno, un valor numérico, se utiliza como una valoración subjetiva.
- *Almacenamiento del nuevo caso*: una vez evaluado el resultado del plan, se forma un nuevo caso con la descripción de la situación que lo desencadenó, el plan instruccional desarrollado y el resultado conseguido. El nuevo caso se incorpora a la MC actualizando los índices y reorganizándola, si es preciso, para optimizar la búsqueda.

2.2. Replanificación

Otro aspecto esencial en la planificación instruccional es la capacidad de adaptación dinámica del plan. Algunos tutores son capaces de descubrir cuando el plan instruccional pierde validez durante la sesión debido a la intervención del alumno; cuando esto ocurre el planificador instruccional analiza la situación actual de la sesión y modifica el plan para afrontar las nuevas condiciones. Los tutores que realizan planificación dinámica son muy aconsejables ya que logran una

mejor adaptación al alumno respondiendo rápidamente a situaciones inesperadas en la sesión.

Tras un estudio de las situaciones que deben dar lugar a una replanificación clasificamos sus causas en dos grandes subgrupos [Elorriaga y Fernández-Castro, 96]: fallos en la predicción (planificación) y eventos externos. En el primer grupo, cuando el plan instruccional no ha cumplido con las expectativas, distinguimos los errores en la previsión temporal de la sesión así como los fallos en la previsión del resultado que la sesión consigue en el alumno, esto es, cuando el alumno no consigue los objetivos instruccionales que se esperaban. En cuanto a los eventos externos debidos a la intervención del alumno durante la sesión, destacamos los errores que el alumno comete en los ejercicios y las peticiones que realiza.

En el PIBC la replanificación se realiza por medio de planes locales, construidos siguiendo el mismo procedimiento híbrido de planificación, que tratan la nueva situación. El plan local se integra en el plan instruccional global teniendo en cuenta incompatibilidades y solapamientos entre los componentes de ambos planes.

2.3. Un Ejemplo de Aplicación

Nuestra propuesta de planificación automejorada se puede integrar en un gran número de planificadores aunque su forma concreta de aplicación dependerá de las características de cada sistema, i.e. en particular la posible estructuración del plan en niveles [Gutiérrez, 94] [Arruarte *et al.*, 95]. La solución que proponemos consiste en generar un plan parcial para cada uno de los niveles siguiendo un procedimiento en cascada en el que el plan final se va construyendo incrementalmente.

Descripción del STI de prueba

Concretamente, hemos aplicado esta idea a un prototipo de STI para la enseñanza de la derivación, el cual proporciona instrucción de manera guiada y dispone de un variado conjunto de estrategias didácticas de explicación y práctica; el plan instruccional que lo rige está estructurado en tres niveles (ver figura 3): el primer nivel está constituido por una serie de Objetivos Instruccionales (OIs), i.e., habilidades y capacidades cognitivas que el tutor quiere desarrollar en el

alumno durante la sesión de entrenamiento; en el segundo nivel, cada OI se refina en una secuencia de Estrategias Didácticas (Eds), i.e., actividades de aprendizaje en las que el tutor implica al alumno para alcanzar un determinado OI (por ejemplo: explicaciones, ejercicios, etc.). Por último, el tercer nivel está compuesto de Estrategias Operativas (EOs) definidas como actividades que ligán las EDs insertándose entre ellas con el fin de guiar y motivar al alumno a la vez que dan coherencia y continuidad a la sesión instruccional. Las estrategias instruccionales (didácticas y operativas) se ejecutan por medio de acciones básicas.

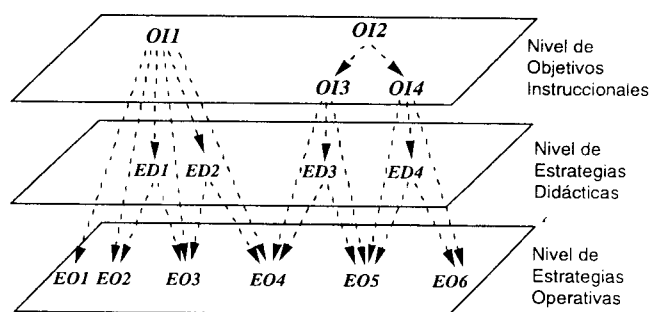


Figura 3: Estructura del plan instruccional.

Aplicación de PIBC

Según la estructura definida, el PIBC genera el plan instruccional en tres etapas. En la primera etapa se deciden los OIs para la sesión, la segunda se encarga de elegir las EDs para lograr los OIs, y finalmente, en la tercera etapa se eligen las EOs. Las tres etapas son desarrolladas en cascada por el *Generador*, de tal manera que cada etapa utiliza información obtenida en etapas anteriores. En cada etapa se realizan las siguientes fases del RBC: recuperación de casos antiguos de la Memoria de Casos y adaptación de los casos recuperados a la situación actual. Una vez que el plan instruccional está terminado se aplica a una sesión de enseñanza (*reutilización*) cuyos resultados son *revisados* por el *Actualizador* para comprobar si el plan consigue sus objetivos. Finalmente, el *Actualizador* crea nuevos casos que se almacenan en la Memoria de Casos.

La estructura en capas del plan instruccional influye en la organización de la Memoria de Casos. En este ejemplo existen tres tipos de casos diferentes que, aún compartiendo la misma estructura (ver tabla 1), se caracterizan mediante

diferentes atributos que se utilizan en las distintas etapas de generación del plan.

<p>Contexto de Aplicación Características del alumno Características de la sesión Características del dominio</p> <p>Plan <secuencia de elementos del plan instruccional></p> <p>Resultado de la aplicación <valoración del resultado que ha obtenido el plan></p>
--

Tabla 1: Estructura general de los casos.

A continuación explicaremos en detalle el proceso de planificación instruccional basada en casos que se realiza (ver figura 4).

Primera etapa: Selección de los Objetivos Instruccionales (OIs).

En la etapa inicial se analiza el Modelo del Alumno para extraer su estado de conocimiento ya que el PIBC utiliza para acceder a la MC información sobre el conjunto de los OIs que el alumno ha alcanzado total o parcialmente (Nivel_de_Consecución (OI)) y algunos datos sobre la sesión como su Duración. Esta

información sirve para recorrer la estructura de índices de acceso de la MC para localizar los casos aplicados a estudiantes con un nivel de conocimiento similar en una sesión de duración similar. Entre el conjunto de casos recuperados se elige, mediante criterios heurísticos, los que se utilizarán para construir el primer nivel del plan instruccional. Actualmente el criterio utilizado se basa en el número de atributos coincidentes con la situación actual. La tabla 2 muestra un ejemplo de caso para el nivel de OIs en el que se pueden observar las características que tratamos en el prototipo actual (este conjunto de atributos se ampliará en refinamientos posteriores).

<p>Contexto de Aplicación: Datos concernientes al alumno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipo (alumno) = Medio • Velocidad de aprendizaje (alumno) = Media • Conseguidos OIs anteriores a (CN¹ (Concepto j), alumno) • Nivel de Consecución (CN (Concepto j), alumno) < Nivel requerido • Nivel de Consecución (AP² (Concepto j), alumno) < Nivel requerido <p>Datos concernientes a la sesión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Duración (sesión) = 1 hora <p>Datos concernientes al dominio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dificultad (CN (Concepto j)) = 6 • Dificultad (AP (Concepto j)) = 5 • Tipo (Concepto j) = Procedimiento <p>Plan: 'CN (Concepto j)'</p> <p>Resultado de la aplicación: Nivel de Consecución (CN (Concepto j)) > Nivel requerido</p>
--

Tabla 2: Ejemplo de un caso a nivel de OIs.

Segunda etapa: Selección de las Estrategias Didácticas (EDs).

Una vez decididos los OIs de la sesión, en la segunda etapa se eligen las Estrategias Didácticas. Los atributos relevantes para la búsqueda de casos son: el Estilo_de_Aprendizaje del alumno, los OIs de la sesión (OIs_Seleccionados) y la Duración de la misma. Para cada OI del plan se recuperan una serie de casos que serán utilizados

para la generación del plan instruccional a nivel de EDs.

Tercera etapa: Selección de las Estrategias Operativas (EOs).

La última etapa de generación del plan se ocupa de la elección de las EOs. Los atributos utilizados para la búsqueda en esta etapa son los siguientes: información relacionada con la sesión

¹ OI conocimiento.

² OI aplicación.

(OIs_Seleccionados, Eds Seleccionados, Duración), y las características del alumno y sus preferencias en cuanto a control de la sesión (por ejemplo: Nivel_de_Guía, Nivel de Intrusión, etc.).

A continuación se muestra el algoritmo que resume la generación del plan instruccional basada en casos.

```
Algoritmo de generación del plan instruccional

inicializar (PI)
Mientras  $\neg$  plan_aceptable3 (PI) hacer
  inicializar (POI)
  Mientras  $\neg$  plan_aceptable (POI) hacer
    POI := Recuperar_caso (estado_MA4, MC)
    POI := Adaptar_caso (estado_MA, POI)
  Fin_mientras
  inicializar (PED)
  Para cada OI  $\in$  POI hacer
    inicializar (PED2)
    Mientras  $\neg$  plan_aceptable (PED2) hacer
      PED2 := Recuperar_caso (estado_MA, MC)
      PED2 := Adaptar_caso (estado_MA, PED2)
    Fin_mientras
    PED := concatenar (PED, PED2)
  Fin_para
  inicializar (PEO)
  Mientras  $\neg$  plan_aceptable (PEO) hacer
    PEO := Recuperar_caso (estado_MA, MC)
    PEO := Adaptar_caso (estado_MA, PEO)
  Fin_mientras
Fin_mientras
PI := crear_plan_instruccional (POI, PED, PEO)
```

Aplicación del plan instruccional: sesión de enseñanza.

Una vez construido el plan instruccional para la sesión, el siguiente paso consiste en aplicarlo, esto es, el tutor desarrolla una sesión de enseñanza siguiendo dicho plan. La responsabilidad de llevar a cabo el plan instruccional es compartida por los diferentes módulos del tutor de tal forma que el planificador no volverá a actuar si no se comprueba que el plan deja de ser válido. Durante la ejecución del plan el tutor monitoriza la respuesta del alumno para actualizar el *Modelo del Alumno* y para comprobar que el plan continúa siendo adecuado. El tutor utiliza ciertas EDs (por ejemplo: "proponer un ejercicio", "proponer un test", etc.) para evaluar el aprendizaje del alumno. El resultado de la evaluación (básicamente se infieren los niveles de adquisición de los OIs) sirve para dos fines, por una parte, se realizan cambios en el Modelo del Alumno

para que el tutor adapte su enseñanza, y por otra parte, el PIBC utiliza esa información en la siguiente fase para evaluar al propio plan instruccional.

Revisión del resultado del plan instruccional.

En esta fase se analizan los datos recuperados durante la sesión de enseñanza y se evalúa si el plan ha alcanzado los resultados que tenía previsto. El Actualizador realiza dos tipos de evaluación. Por una parte se realiza una valoración objetiva comparando los valores de los atributos del Modelo del Alumno relacionados con los objetivos antes y después de la sesión. Por ejemplo a nivel de OIs se comprueba que los valores de los atributos Nivel_de_Consecución para establecer cuales ha logrado durante la sesión. Por otra parte el Actualizador solicita al alumno su opinión sobre la sesión expresada como un valor numérico utilizando esta información como una valoración subjetiva. En el prototipo actual se calcula un

³ El predicado *plan_aceptable* resulta cierto si el ciclo de generación del plan ha obtenido un plan y falso si ha fracasado.

⁴ MA : Modelo del Alumno.

conjunto de valores que representa numéricamente el resultado del plan:

- Nivel de conocimiento teórico que consigue.
- % de mejora en el conocimiento teórico.
- Nivel de conocimiento práctico que consigue.
- % de mejora en el conocimiento práctico.
- Tiempo empleado.
- Errores que provoca.
- Valoración del alumno.

Si el plan consigue sus objetivos, se almacena en la siguiente fase. Si por el contrario, el plan fracasó, el *Actualizador* deduce las causas del fracaso (por ejemplo: el Modelo del Alumno para el

que se hizo el plan no era preciso porque se suponían conocimientos que no tenía, el plan era inapropiado, etc.), pero, a diferencia del RBC clásico, no se repara el plan. La razón es que una situación de enseñanza no es reversible: es posible aplicar un nuevo plan para que el alumno alcance los objetivos deseados, pero es imposible deshacer inmediatamente los efectos de la sesión en el estudiante para probar otro plan. Por esto, el plan será modificado, únicamente, si se recupera en el futuro. En ambos casos se filtra el plan instruccional para eliminar posibles planes locales debidos a eventos inesperados en la sesión. Estos planes locales se tratan por separado.

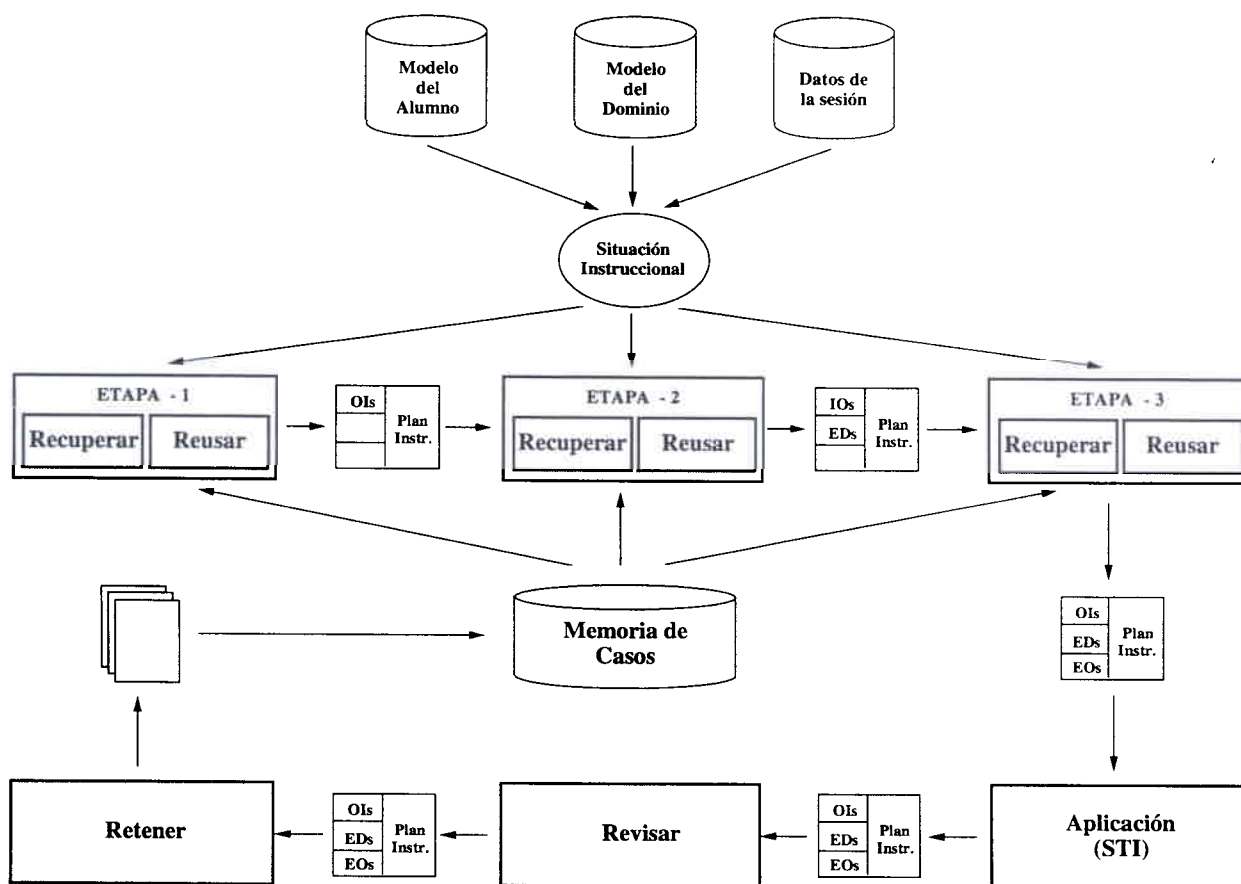


Figura 4: Ciclo de RBC aplicado a la planificación instruccional.

Almacenamiento de nuevos casos.

La última fase del ciclo consiste en retener al final de la sesión los nuevos casos utilizados. Los casos que se almacenan son los siguientes, categorizados de acuerdo a su funcionalidad:

- un caso por cada OI desarrollado en la sesión,
- un caso por cada plan didáctico correspondiente a un OI
- un caso por el plan operativo de la sesión, y

- un caso por cada plan instruccional local generado para tratar eventos inesperados (replanificación).

No se almacenan todos los casos utilizados, sino que sólo se incluyen aquellos que son diferentes a los ya existentes en la Memoria de Casos.

3. Sistema Híbrido de Planificación Instruccional Automejorado

En esta sección ampliaremos el PIBC con otras dos técnicas del Aprendizaje Automático construyendo un Sistema Híbrido de Planificación Instruccional Automejorado (SHIPIA). Las técnicas que se van a sumar al *Aprendizaje Analógico* propio del RBC son el *Aprendizaje por Observación* y el *Aprendizaje por Refuerzo*.

3.1. Integración de PIBC en un STI.

La primera ampliación surge al integrar el PIBC en STIs existentes. Desde el punto de vista del STI, el módulo incorporado le permitirá aprender a partir de su experiencia y, desde el punto de vista del PIBC, éste dispondrá de un "maestro" del que puede aprender inicialmente el conocimiento de planificación; este maestro es el planificador original del STI, y el PIBC realiza un proceso de *Aprendizaje por Observación* transformando en casos cada plan instruccional generado.

La figura 5 muestra la estructura general del Módulo del Tutor extendido con el PIBC. Dicho Módulo Tutor está compuesto por la Memoria de Casos (MC) y tres módulos funcionales (Instructor Didáctico, Ejecutor Didáctico y el módulo Actualizador). El Instructor Didáctico decide qué plan concreto desarrollar entre los propuestos por un Planificador Instruccional Clásico (PIC) y el Generador. El Ejecutor Didáctico se encarga de llevar a cabo la sesión de enseñanza, esto es, refina el plan instruccional hasta las acciones básicas en que se descompone y las ejecuta. El Actualizador observa el desarrollo de la sesión y, a partir de los datos que recopila, genera nuevos casos que se evalúan y almacenan en la Memoria de Casos. Este

módulo trata casos creados bien por el PIC o bien por el PIBC.

Funcionamiento de SHIPIA.

El modo de funcionamiento de un STI ampliado con el PIBC es el siguiente. Inicialmente la Memoria de Casos del PIBC se encuentra vacía, por lo cual el tutor se guía por el plan generado por el PIC. Durante esta primera etapa, el PIBC incorpora los planes creados por el PIC representándolos en forma de casos (*fase de entrenamiento*). Cuando la Memoria de Casos incluye un número mínimo de casos recaerá en él la responsabilidad de planificar reutilizando los casos de anteriores sesiones. Si el PIBC no consigue generar un plan instruccional apropiado para la sesión en curso, el STI utiliza el plan propuesto por el planificador convencional (*fase de cooperación*). El plan así formado se generaliza y forma un nuevo caso. De esta forma, el PIBC va "aprendiendo" cómo afrontar nuevas situaciones observando el comportamiento del PIC. La combinación de ambos planificadores consigue un sistema robusto que aprende de la experiencia y es capaz de superar lagunas en la Memoria de Casos.

Los nuevos casos que se incorporan a la MC se clasifican según el origen (el PIBC o el PIC) y según su tipo. Los planes creados por el PIC son la fuente principal del conocimiento del PIBC tanto en la *fase de entrenamiento*, como en la *fase de colaboración*, sin embargo, los planes del PIBC también son incluidos si no existen en la MC. Dentro de los planes del PIBC, distinguimos los planes generados al comienzo de la sesión y el plan que finalmente se ha ejecutado. Este último puede haber sido objeto de algún tipo de replanificación. Ambos planes se pueden almacenar y son útiles desde diferentes puntos de vista, los planes iniciales contribuirán a agilizar el proceso de generación del plan para situaciones similares; los planes ejecutados incluyen el resultado que han conseguido y por tanto se aplicarán con mayor seguridad o se anticiparán posibles problemas para los cuales se propondrán soluciones (cambios en el plan o generación de un plan diferente). Finalmente, los planes se clasifican entre aquellos que sirven para sesiones completas y los planes locales, que tratan situaciones inesperadas dentro de la sesión siendo por tanto resultado de una replanificación.

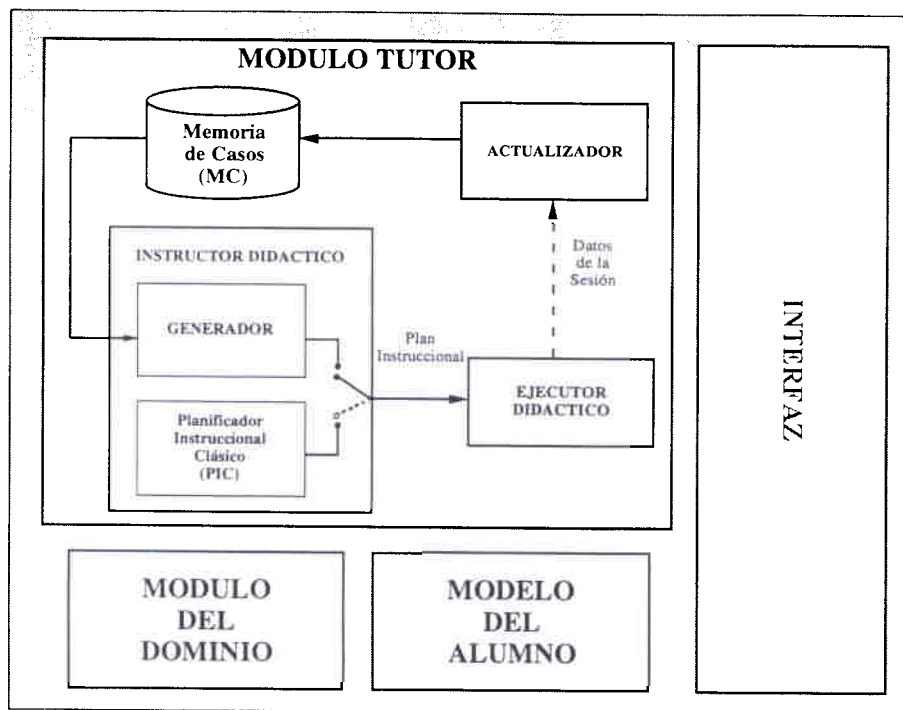


Figura 5: Estructura General de un STI automejorado
(los módulos sombreados realizan el proceso de RBC).

En cuanto a la capacidad de modificar dinámicamente el plan instruccional (replanificación), está determinada por la capacidad del tutor en el que está incluido el PIBC de identificar en que situaciones es necesaria la replanificación y la alteración del propio plan. Como ya se ha referido anteriormente, el PIBC replanifica por medio de planes instruccionales locales que tratan situaciones inesperadas de la sesión de enseñanza. El plan local se integra en el plan instruccional global teniendo en cuenta posibles incompatibilidades y repeticiones de los componentes de ambos planes. Si el STI inicial tiene capacidad de replanificar, se propone un método híbrido de replanificación similar al explicado para la generación del plan completo en el que el Instructor Didáctico elija que plan local aplicar entre el generado por el PIC y el PIBC. En caso de que el tutor no pueda replanificar, el sistema ampliado con PIBC tampoco podrá hacerlo.

3.2. Mejora de SHIPIA.

Como resultado de unas pruebas iniciales en el prototipo actual hemos observado que tutores utilizados por un conjunto muy amplio de alumnos podrían generar muchas sesiones de enseñanza

muy similares entre si. Por esta razón estamos mejorando la Memoria de Casos para representar un conjunto de sesiones similares mediante un sólo caso. Sin embargo es importante mantener la información sobre el resultado de todas las aplicaciones de un plan instruccional; esto último se implementa utilizando una forma de *Aprendizaje por Refuerzo* dentro del sistema híbrido propuesto.

Con esta ampliación SHIPIA representa en cada caso las aplicaciones de un mismo plan instruccional en contextos semejantes, a la vez que se definen y mantienen una serie de índices de bondad asociados a los casos; estos índices valoran el resultado general del plan instruccional en todas las aplicaciones del mismo. Esta nueva técnica se integra perfectamente dentro del ciclo de RBC ya que los índices a los que nos referimos son aquellos atributos que se utilizan en la fase de evaluación para valorar el resultado del plan. Estos atributos mantienen la información sobre aspectos relacionados principalmente con el nivel de aprendizaje que el alumno alcanza con los planes instruccionales. Para ilustrar el concepto de índice de bondad podemos retomar el ejemplo de la sección 2.2; En este tutor los atributos que se utilizarían como índices de bondad son los

enumerados en el apartado de revisión del plan instruccional, esto es: *Nivel de conocimiento teórico que consigue*, *% de mejora en el conocimiento teórico*, etc. SHIPIA realiza una evaluación continua actualizando los citados índices cada vez que un plan se reutiliza. La fórmula que se emplea para la actualización es la media de los valores obtenidos en cada sesión.

Con esta extensión se reduce el tamaño de la MC a la vez que se simplifica el proceso de recuperación de casos ya que se representan mediante el mismo caso varias situaciones muy similares; los índices, además, son utilizados para recuperar casos útiles. Esta técnica constituye una mejora del RBC y una forma de implementación de la evaluación de los casos.

4. Conclusiones

En este artículo hemos presentado una solución híbrida para dotar a los sistemas automáticos de enseñanza de la capacidad de automejora en la tarea de planificación instruccional a través de la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial. La solución propuesta consiste en la integración de un planificador instruccional basado en casos dentro de un Sistema Tutor Inteligente ya existente. El nuevo planificador amplía el Razonamiento Basado en Casos con otras técnicas de Aprendizaje Automático como el *Aprendizaje por Observación* y el *Aprendizaje por Refuerzo*. Por otra parte, el planificador híbrido tiene un diseño modular que permite ser utilizado en diferentes sistemas de enseñanza mediante la adaptación previa a las características propias del plan instruccional.

En cuanto al planificador basado en casos, base del sistema híbrido, podemos resaltar la similitud que existe entre el método que los profesores humanos emplean para guiar su docencia organizando ésta en lecciones y el patrón del *Razonamiento Basado en Casos*. La planificación basada en casos desarrolla el plan para la sesión considerando ésta en conjunto, generando planes coherentes y manteniendo la continuidad de la sesión. Por otra parte, si se planifica la sesión completamente al empezar, esto libera al tutor de parar cada cierto tiempo para realizar nuevas decisiones didácticas si la sesión se desarrolla sin

problemas. Si por el contrario, se plantean condiciones diferentes a las esperadas inicialmente el planificador es capaz de construir planes locales que las traten.

El comportamiento de un planificador híbrido como el presentado es más robusto que un único planificador basado en casos, ya que siempre puede apoyarse en el planificador original cuando no se disponga de casos adecuados en la memoria. Además, no se precisa inicializar la Memoria de Casos para que el sistema empiece a funcionar; de esta forma se libera al experto humano de la tarea de análisis y construcción del conjunto inicial. Sin embargo, la representación explícita de los planes permite que estos sean supervisados por el instructor humano. Asimismo, el instructor puede incluir manualmente nuevos casos que el sistema experimentará y mejorará.

El planificador híbrido se está implementando actualmente como un módulo genérico en el entorno de desarrollo de Sistemas Expertos CLIPS bajo el paradigma de orientación a objetos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Gobierno Vasco - *Eusko Jaurlaritza* (a través de una beca del Programa de Formación de Investigadores del Departamento de Educación, Universidades e Investigación), el Departamento de Economía de la Diputación Foral de Gipuzkoa - *Gipuzkoako Foru Aldundia* y la Universidad del País Vasco - *Euskal Herriko Unibertsitatea*. Los autores desean agradecer la colaboración y el apoyo de los miembros del Grupo de Tutores Inteligentes de la Facultad de Informática de Donostia.

REFERENCIAS

- Aamodt, A. y Plaza, E. (1994). Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. En *AI Communications*, vol. 7, págs. 39-59.
- Arruarte, A., Fernández-Castro, I. y Ferrero, B. (1995). A requirement-based proposal for a general ITS shell. En *Proc. Int. Conf. on Computers in Education ICCE'95*, págs. 348-355, Singapore.

- Coulman, R. (1991). Combining Case-Based Reasoning and Granularity for Educational Diagnosis in an Intelligent Tutoring System. Research report 91-9, ARIES laboratory, Department of Computational Science, University of Saskatchewan, Canada.
- Dillenbourg, P. (1989). Designing a self-improving tutor: PROTO-TEG. En *Instructional Science*, vol. 18, págs. 193-216.
- Du, Z. y McCalla, G.I. (1991). A Case-Based Mathematics Instructional Planner. En *Proceedings of the International Conference on the Learning Sciences*, Northwest Univ., págs. 122-129.
- Elorriaga, J.A., Fernández-Castro, I. y Gutiérrez, J. (1995-1). Case-Based Reasoning for Self-Improving Intelligent Tutoring Systems. En *Proc. Int. Conf. on Computers in Education (ICCE'95)*, págs. 259-266. Singapore.
- Elorriaga, J.A., Fernández-Castro, I. y Gutiérrez, J. (1995-2). Sistemas Tutores Inteligentes y Aprendizaje Automático. En *Informática y Automática*, vol. 28 (4), págs. 3-18.
- Elorriaga, J.A. y Fernández-Castro, I. (1996). Diseño de un Sistema Híbrido de Planificación Instruccional Automejorado. Informe interno, en preparación.
- Fernández-Castro, I. (1989). Estrategias de enseñanza en un sistema inteligente de enseñanza asistido por ordenador. Tesis Doctoral. Facultad de Informática, EHU-UPV, Donostia.
- Fernández-Castro, I., Díaz de Ilarraza A. y Verdejo, F., (1993). Architectural and Planning Issues in Intelligent Tutoring Systems. En *Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 4(4), págs. 357-395.
- Gutiérrez, J. (1994). INTZA: un Sistema Tutor Inteligente para Entrenamiento en Entornos Industriales. Tesis Doctoral. Facultad de Informática, EHU-UPV, Donostia.
- Gutstein, E. (1992). Using Expert Tutor Knowledge to Design a Self-Improving Intelligent Tutoring System. En *Intelligent Tutoring Systems, 2nd Int. Conference ITS'92*, Frasson, C., Gauthier C., McCalla, G.I. (Eds.), LNCS Springer-Verlag, págs. 625-632.
- Khan, T. y Yip, Y.J. (1995). Case-based task management for computer-aided learning. En *Progress in Case-Based Reasoning*, Watson, I.D. (Ed.), págs. 201-209.
- Kolodner, J. (1995). *Case-Based Reasoning*. Morgan Kaufmann Pub.
- Kimball, R. (1982). A self improving tutor for symbolic integration. En *Intelligent Tutoring Systems*, Sleeman, D., Brown, J.S. (Eds.), Academic Press, págs. 283-307.
- MacMillan, S.A. y Sleeman, D.H. (1987). An architecture for a self-improving instructional planner for intelligent tutoring systems. En *Computational Intelligence*, vol. 3, págs. 17-27.
- Maes, P. y Kozierok, R. (1993). Learning interface agents. En *Proc. of the eleventh national conference on Artificial Intelligence (AAAI'93)*, págs. 459-465.
- Murray, W.R. (1990). A Blackboard-Based Dynamic Instructional Planner. Research Report R-6376, Artificial Intelligence Centre, FMC Corporation, Santa Clara, USA.
- O'Shea, T. (1982). A self improving quadratic tutor. En *Intelligent Tutoring Systems*, D. Sleeman y J.S. Brown (Eds.), Academic Press, págs. 309-336.
- Riesbeck, C.K. y Schank, R.C. (1989). *Inside Case-Based Reasoning*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Schank, R.C. (1982). *Dynamic Memory: a Theory of Reminding and Learning in Computers and People*. Cambridge University Press.
- Self, J. (1988). Bypassing the intractable problem of student modelling. En *Proceedings of the International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS-88)*, Montreal, Quebec, Canada, págs. 18-24.
- Sleeman, D.H., Hirsh, H., Ellery, I. y Kim, I. (1990). Extending domain theories: two case studies in Student Modelling. En *Machine Learning*, vol. 5, págs. 11-37.
- VanLehn, K., Ohlsson, S. y Nason, R. (1994). Applications of simulated students: an exploration. En *Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 5, págs. 135-175.
- Wasson, B. (1990). Determining the Focus of Instruction: Content Planning on ITSs. Tesis Doctoral. University of Saskatchewan, Canada.
- Watson, I. y Marir, F. (1994). Case-Based Reasoning: A Review. En *The Knowledge Engineering Review*, vol. 9, págs. 327-354.