

SISTEMA ADAPTATIVO PARA AMBIENTES VIRTUALES DE APRENDIZAJE (ID2016/203)

Memoria de Resultados

Convocatoria de Innovación Docente – Curso 2016-2017



VNiVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

Grupo de Innovación docente: Sara Rodríguez González (coordinadora), Juan Manuel Corchado Rodríguez, Pablo Chamoso Santos, María Navarro Cáceres, Ricardo Azambuja Silveira y Cecilia Estela Giuffra Palomino.

Departamento de Informática y Automática
Universidad de Salamanca - Facultad de Ciencias
Plaza de la Merced, s/n
37008 Salamanca

10 de Julio de 2017

CONTENIDO

I.	Datos del Proyecto	4
II.	Introducción	5
III.	Objetivos	6
IV.	Desarrollo del proyecto	6
	A. Fases relevantes en el desarrollo del proyecto.....	7
	1. <i>Revisión de literatura y análisis del estado del arte de las tecnologías empleadas.....</i>	<i>7</i>
	2. <i>Selección de técnicas y tecnologías a emplear, así como grupo de prueba y temática</i>	<i>8</i>
	3. <i>Diseño del modelo de agentes para AVA</i>	<i>10</i>
	4. <i>Implementación del modelo en el LMS seleccionado.....</i>	<i>11</i>
	5. <i>Aplicación del modelo de ambiente virtual inteligente y adaptativo en una asignatura con estudiantes</i>	<i>13</i>
V.	Resultados logrados y conclusiones	17
	A. Resultados	17
	B. Grado de cumplimiento	18
VI.	Memoria económica	19
VII.	Agradecimientos	19
VIII.	Referencias	20

FIGURAS

Figura 1.	Puntos clave en el proceso de selección	10
Figura 2.	Técnicas y entidades concretas en la fase de selección.....	10
Figura 3.	Modelo del sistema	11
Figura 4.	Pantalla inicial	14
Figura 5.	Configurando el bloque Tutor I	14
Figura 6.	Configurando el bloque Tutor II	15
Figura 7.	Grafo de pre-requisitos configurado en el tutor para el tópico “Funciones primitivas e integrales”	15

Figura 8. Ejemplo de módulo.....	16
Figura 9. Ejemplo de cuestionario	17
Figura 10. Árbol de secuencia.....	18

I. DATOS DEL PROYECTO

TÍTULO: Sistema adaptativo para ambientes virtuales de aprendizaje

REFERENCIA: ID2016/203

CUANTÍA DE LA SUVENCIÓN: 525 €

PROFESOR COORDINADOR: Sara Rodríguez González

ORGANISMO: UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

CENTRO: FACULTAD DE CIENCIAS

INVESTIGADORES QUE FORMAN EL EQUIPO:

Sara Rodríguez González

Juan Manuel Corchado Rodríguez

Pablo Chamoso Santos

María Navarro Cáceres

Ricardo Azambuja Silveira

Cecilia Estela Giuffra Palomino

DURACIÓN: Octubre 2016 a julio 2017

II. INTRODUCCIÓN

En la actualidad nos encontramos con una gran cantidad de investigaciones dentro del campo de la Inteligencia Artificial (IA) dirigidas a la ayuda tanto de los alumnos en tareas formativas e instructivas, como a los profesores en tareas de diseño y planificación de las actividades docentes. El objetivo fundamental del presente proyecto era demostrar cómo algunas de las técnicas desarrolladas en IA son de gran utilidad para mejorar el software destinado al ámbito educativo.

Técnicas IA actuales como agentes, sistemas multi-agente, e-learning, sistemas distribuidos, sistemas expertos de aprendizaje automático o ambientes virtuales de aprendizaje son algunas de las estudiadas y aplicadas por los componentes del equipo en su carrera docente e investigadora. La motivación de este trabajo es demostrar la validez del uso de técnicas de IA en el ámbito educativo, aportando conocimiento no solo en el proceso de aprendizaje de los estudiantes sino también en la investigación de las técnicas IA implicadas. Creemos que es posible mejorar la productividad en el proceso de aprendizaje de los alumnos, siendo apoyados por un modelo de tutor inteligente para AVA (Ambientes Virtuales de Aprendizaje), que muestre a los alumnos los textos y las actividades de forma personalizada.

El proyecto, además, aporta como valor añadido la posibilidad de colaboración con expertos de otras universidades. En concreto, la participación de los profesores Ricardo Azambuja Silveira y Cecilia Estela Giuffra Palomino aportan el *Know-How* de su grupo de investigación de la Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) en el conocimiento de técnicas aplicadas al e-learning.

A lo largo del curso 2016/17 se prueba cómo un sistema tutor inteligente (STI) actúa como un tutor particular del estudiante, y además posee libertad para actuar de acuerdo a las necesidades del mismo. Es un sistema adaptable de acuerdo a los conocimientos previos y a la capacidad de evolución de cada estudiante y las concepciones epistemológicas que subyacen en las prácticas de enseñanza.

Podemos definir tutor inteligente como *“un sistema de software que utiliza técnicas de inteligencia artificial (IA) para representar el conocimiento e interactúa con los estudiantes para enseñárselo”* (VanLehn, 1988). Wolf (Wolf, 1984) define los STI como: *“sistemas que modelan la enseñanza, el aprendizaje, la comunicación y el dominio del conocimiento del especialista y el entendimiento del estudiante sobre ese dominio”*.

A lo largo de esta memoria se realizará una descripción más detallada de los aspectos más importantes en el desarrollo del proyecto. Cabe destacar que algunas de las imágenes han sido tratadas para que allí donde aparecen nombres de usuario o datos de alumnos éstos no sean visibles. Por ese mismo motivo algunas de las gráficas de resultados tampoco pueden ser recogidas en esta memoria de modo más preciso.

III. OBJETIVOS

Una de las bases en la que se sustenta el marco del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) es que el alumno debe ser el protagonista del escenario de educación, basándose en el aprendizaje, en oposición a la educación tradicional basada en la enseñanza del profesor. Por ello, el sistema de créditos está centrado en el alumno, y se fundamenta en la carga necesaria de trabajo que debe realizar para conseguir los objetivos marcados. Estos deben estar basados en los resultados del aprendizaje y las competencias que el alumno debe adquirir, las cuales expresan su habilidad para desarrollar con éxito determinadas funciones. El estudiante deberá tomar un papel activo y participativo en el proceso de su propia formación, de tal manera que se sienta más identificado con él.

En el marco de este proyecto se pretende poner en marcha un anexo funcional complementario a moodle para facilitar el auto-aprendizaje, el aprendizaje online guiado y la autoevaluación. Este proyecto tiene por objetivo **demostrar la efectividad del uso de la tecnología basada en agentes en sistemas virtuales de aprendizaje (LMS)**.

Se pretende demostrar en qué manera un sistema basado en agentes adaptativos puede ser útil y eficaz para el intercambio de conocimientos con los estudiantes. Para ello, se crea un modelo completo del entorno de aprendizaje basado en *Intelligent Tutoring Systems* (ITS, o sistemas tutoriales inteligentes) utilizando agentes y moodle como LMS de base.

El modelo adaptativo propuesto tiene en cuenta la forma en que los usuarios (estudiantes) utilizan y acceden a los recursos en la materia e indicadores de éxito en las actividades propuestas en la asignatura para obtener conocimiento. Lo que se obtendrá finalmente mediante el uso de estas tecnologías será un entorno humano-máquina en el que los agentes interactúan con los usuarios mediante el envío de mensajes, y tratan de gestionar el intercambio de conocimiento de manera inteligente, cambiando los recursos y actividades disponibles.

Como objetivos secundarios se encuentran:

- Crear un **proceso docente innovador** que enfatiza la participación activa del estudiante universitario y utiliza técnicas novedosas basadas en IA,
- Probar la **validez de una metodología nueva** en las clases teóricas y prácticas para mejorar la formación global de los estudiantes y su aprendizaje,
- Impulsar la **creación y consolidación de un equipo docente multidisciplinar e internacional** entre la USAL y la UFSC para la colaboración en la docencia de un determinado grupo de estudiantes con perfil técnico.

IV. DESARROLLO DEL PROYECTO

A continuación se muestra algunas de las consideraciones más relevantes del desarrollo del proyecto. Este trabajo es considerado un estudio de campo, pues se hará una evaluación con un grupo de participantes, estudiantes de grado, en una asignatura de un ambiente virtual de aprendizaje, observándose su comportamiento, según los caminos que cada estudiante sigue

en la asignatura y que son registrados en la base de datos del sistema. Según Gil (Gil, 2008.), el estudio de campo experimenta con un grupo o comunidad, destacando la interacción de los participantes. Es un estudio que utiliza la observación antes de las técnicas de interrogación. El universo y la muestra de la investigación son el ambiente virtual de aprendizaje y los alumnos de una asignatura a distancia.

A. Fases relevantes en el desarrollo del proyecto

La investigación está dividida en varias etapas, que son:

- Revisión de literatura y análisis del estado del arte de las tecnologías empleadas.
- Selección de técnicas y tecnologías a emplear, así como grupo de prueba y temática.
- Diseño del modelo de agentes para AVA.
- Implementación del modelo en el LMS seleccionado.
- Aplicación del modelo de ambiente virtual inteligente y adaptativo en una asignatura con estudiantes.

1. REVISIÓN DE LITERATURA Y ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS TECNOLOGÍAS EMPLEADAS

Para el proyecto, se realizó un estudio de los sistemas actuales directamente relacionados. El estudio incluyó una revisión de los trabajos que han llevado a las investigaciones recientes sobre Sistemas de Tutores Inteligentes (STI). Entre los STI desarrollados pueden destacarse: Scholar (Carbonell, 1970), Why (Stevens et al., 1977), Sophie (Brown et al., 1982), Guidon (Clancey et al., 1991), West (Burton et al., 1981), Buggy (Brown y Burton, 1978), Steamer (Stevens et al., 1977), Meno (Wolf, 1984), Proust (Johnson et al., 1986), Sierra (VanLehn, 1988).

En la década de los 90, el progreso de la psicología cognitiva, las neurociencias y los nuevos paradigmas de programación, han permitido la evolución de los STI desde una propuesta instructiva conductista inicial hacia entornos de descubrimiento y experimentación del nuevo conocimiento (Bruner, 1991) (Perkins, 1995) (Pozo, 1998) desde la pedagogía de la comprensión (Perkins, 1995) (Stone Wiske, 2007, 2008). Las dificultades de representación se centran en la identificación de las diferentes fases evolutivas del estudiante y en el reconocimiento de los preconceptos o concepciones erróneas. Así, las teorías ingenuas o intuitivas, se basan en ideas que en general no coinciden con las explicaciones científicas. Gardner (Gardner, 2000) indica que para eliminar estas concepciones “sólo una investigación en profundidad pondrá en evidencia los defectos de esas ideas falsas iniciales, y solo una exploración a fondo de estos temas, bajo la supervisión de alguien capaz de pensar de manera disciplinaria, puede fomentar el desarrollo de una comprensión más sofisticada”.

Existen multitud de proyectos afines como ITSpoke (Litman y Silliman, 2005), AGT (Advanced Geometry Tutor), un STI para el uso en clases de geometría avanzada (Matsuda y Van Lehn, 2005), Aspire (Mitrovic *et al.*, 2006), Sql-Tutor es un sistema de enseñanza basado en el conocimiento que enseña Sql a los estudiantes (Mitrovic, Martin y Mayo, 2002; Mitrovic, 2003), Kermit; EER-Tutor, ERM-Tutor: (Milik, Marshall, y Mitrovic, 2006) y Normit en aplicaciones informáticas. Se ha observado que la mayor parte de los STI no presentan el nivel

esperado de “inteligencia” debido a la dificultad para el modelado del funcionamiento de la mente humana, más allá de la aplicación de las técnicas de programación más avanzadas. La orientación actual de las investigaciones se centra en proveer una alternativa al tutor humano, cuando no puede dedicar más tiempo a sus estudiantes y para los estudiantes que buscan aprender en forma más autónoma. Un STI actúa como un tutor particular del estudiante ya que al igual que el tutor humano, posee libertad para actuar de acuerdo a las necesidades más complejas del estudiante. Los STI aún no proveen de un modo de aprendizaje lo suficientemente adaptable de acuerdo a los conocimientos previos y a la capacidad de evolución de cada estudiante, pero el enfoque de los trabajos más recientes va dirigido a suplir esta deficiencia.

2. SELECCIÓN DE TÉCNICAS Y TECNOLOGÍAS A EMPLEAR, ASÍ COMO GRUPO DE PRUEBA Y TEMÁTICA

Se pretende demostrar en qué manera un sistema basado en agentes adaptativos puede ser útil y eficaz para el intercambio de conocimientos con los estudiantes. Para ello, se crea un modelo completo del entorno de aprendizaje basado en *Intelligent Tutoring Systems* (ITS, o sistemas tutoriales inteligentes) utilizando agentes y moodle como LMS de base.

El modelo adaptativo propuesto tiene en cuenta la forma en que los usuarios (estudiantes) utilizan y acceden a los recursos en la materia e indicadores de éxito en las actividades propuestas en la asignatura para obtener conocimiento. Lo que se obtendrá finalmente mediante el uso de estas tecnologías será un entorno humano-máquina en el que los agentes interactúan con los usuarios mediante el envío de mensajes, y tratan de gestionar el intercambio de conocimiento de manera inteligente, cambiando los recursos y actividades disponibles.

Para crear un STI con módulos intercambiables, se debe efectuar un rediseño de los módulos básicos del modelo propuesto por Carbonell (Carbonell, 1970). Se observa que algunos investigadores detectaron que la arquitectura (Carbonell, 1970; Salgueiro et al., 2005) real implementada en los STI tienen solapamiento de funcionalidades y por lo tanto los módulos no son independientes. Esto se debe a que muchos de los conocimientos particulares del dominio se encuentran dentro de los módulos del tutor y del estudiante con las consecuentes regiones de superposición entre los módulos. Para evitar esto hay que realizar una definición precisa de las interfaces a fin de diferenciar cada uno de los módulos. Por ello, se debe identificar cual será el módulo encargado de realizar cada una de las funciones del STI a fin de definirlo en su totalidad. De este modo se obtendrán módulos completamente intercambiables e independientes del dominio de la aplicación. Además de la modularidad e independencia, se busca modelar un STI centrado en las necesidades reales de los estudiantes. Esto significa contar con varios protocolos pedagógicos o métodos de enseñanza que se ajusten de acuerdo a las necesidades y las preferencias de cada alumno en particular. Se trata entonces de un modelo que pueda incluir el uso de las nuevas tecnologías existentes y con vistas de ser utilizado a través de Internet.

A) TECNOLOGÍAS IMPLICADAS

En el proyecto, se crea un **Ambiente Virtual de Aprendizaje (AVA)** personalizado bajo un entorno de aprendizaje automático. Un AVA no es más que el espacio físico donde las nuevas tecnologías tales como la red, avatares o elementos multimedia se potencian rebasando el entorno escolar tradicional que favorece al conocimiento y a la adquisición de contenidos, experiencias y procesos pedagógico-comunicacionales. Los Ambientes Virtuales de Aprendizaje (AVA) usados en *e-learning*, en su mayoría, no ofrecen los recursos y las actividades para los alumnos de forma personalizada.

El modelo de **tutor inteligente** (IT por sus siglas en inglés), que se utilizará en este proyecto, considera el desarrollo de asignaturas de cálculo. Los ITS están relacionados con el estudio de la manera de apoyar al aprendizaje a través de tecnologías principalmente informáticas. Los ITS exigen que se cumpla:

- una generación de enseñanza en tiempo real y por demanda de las necesidades individuales,
- ser compatibles con el diálogo de diferentes tipos de instrucción (no solo apoyado en tecnologías), permitiendo la discusión libre entre la tecnología y el estudiante.

Por último, los tutores inteligentes serán implementados sobre una base de agentes. Los **agentes** inteligentes son entidades computacionales que poseen ciertas capacidades de autonomía, razonamiento y acción y que permiten dotar al modelo planteado de una adaptación en el proceso de aprendizaje.

La definición del término “agente” es todavía tema de discusión, ya que se asocia a un gran número de disciplinas, desde la psicología, hasta las orientadas a la computación, tales como la inteligencia artificial, la ingeniería de software y las bases de datos, entre otras (Rodríguez et al., 2009) (Tapia et al., 2013). Por este motivo se hace difícil realizar una definición con una visión global independiente del área de influencia. En el caso que nos ocupa, es posible caracterizar un agente como un sistema computacional que se sitúa en algún entorno (en este caso del LMS) y es capaz de actuar de forma autónoma en dicho entorno para alcanzar sus objetivos de diseño.

En base a la definición anterior, un sistema multiagente es aquel que se compone de múltiples agentes autónomos con capacidades incompletas para resolver un problema global, en donde no existe un sistema de control global, los datos son descentralizados y la computación es asíncrona (Rodríguez et al., 2011) (Silveira et al., 2016). De esta forma, cada agente se centra en su propia conducta, tomando la iniciativa guiado por sus objetivos y decidiendo dinámicamente las tareas que debe realizar o asignar a otros agentes. Las arquitecturas para la construcción de agentes especifican cómo se descomponen los agentes en un conjunto de módulos que interactúan entre sí, para lograr la funcionalidad requerida. En este caso, para el proyecto será necesario tener una arquitectura heterogénea donde todas las funcionalidades requeridas en el proceso de aprendizaje queden cubiertas.

El resumen de esta fase de selección puede resumirse en la siguiente imagen, en la que se observa los tres puntos claves de la investigación:

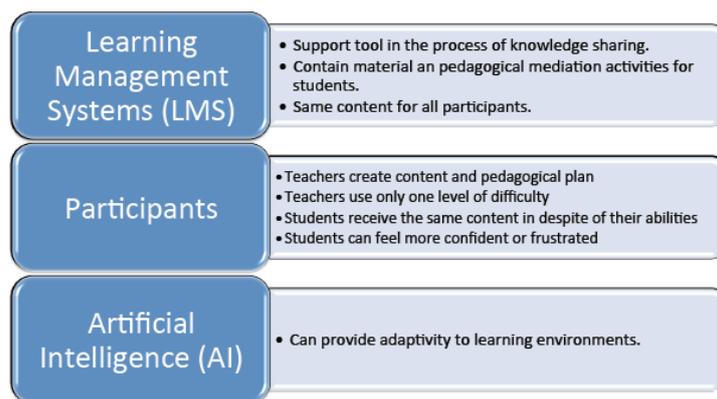


Figura 1. Puntos clave en el proceso de selección

Como puede observarse, la tecnología principal será un LMS (en concreto Moodle), y los participantes tanto profesores como alumnos. Estos tres puntos se concretan en las siguientes técnicas y entidades:

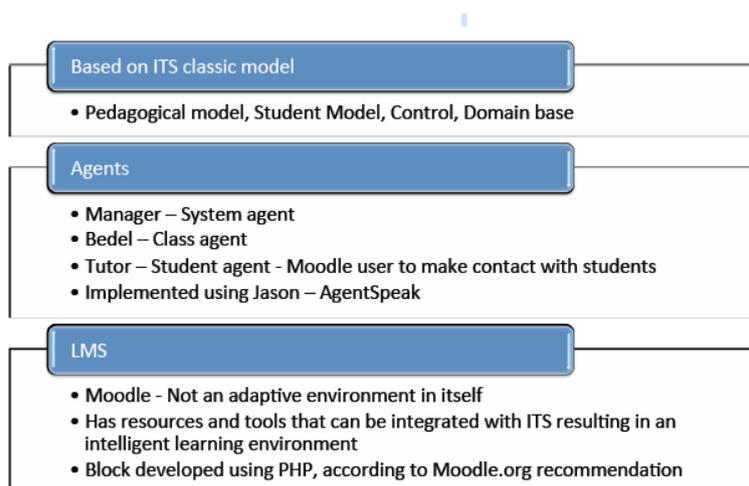


Figura 2. Técnicas y entidades concretas en la fase de selección

Con la selección propuesta se lleva a cabo del diseño del modelo que conformará el sistema, y que se resume en el siguiente apartado “Diseño del modelo de agentes para AVA” (Ambientes Virtuales de Aprendizaje).

3. DISEÑO DEL MODELO DE AGENTES PARA AVA

En la fase de diseño se lleva a cabo la definición de las distintas entidades necesarias para el ambiente virtual de aprendizaje y el modo en el cual éstas interactuarán. Este modelo es una versión ampliada de un modelo de entorno de aprendizaje adaptativo desarrollado y presentado en un trabajo de investigación previo (Giuffra et al., 2015). El modelo a partir del cual se inicia esta investigación se basa en el modelo clásico de ITS, y tiene los siguientes elementos: Modelo pedagógico, Control, Modelo Estudiantil y Base de Dominio, como puede observarse en la siguiente figura. El Modelo Pedagógico es definido por el docente que crea las actividades a realizar por el alumno, definiendo el flujo entre ellas. El Modelo del Estudiante

está representado por la información de su perfil, sus interacciones con el entorno y los resultados de las evaluaciones. La Base de Dominio contiene el contenido del curso, proporcionado por el profesor, así como la información del entorno, almacenada en la base de datos. El Control, del que forman parte los agentes, consiste en el proceso mediante el cual los agentes acceden a la base de datos obteniendo lo necesario para poder ejecutar sus instrucciones. Uno de ellos es el agente Tutor, que trabaja al lado del alumno y el otro es el agente Bedel, que trabaja al lado del profesor. Para cada alumno existe una instancia de agente Tutor y para cada asignatura una instancia de agente Bedel.

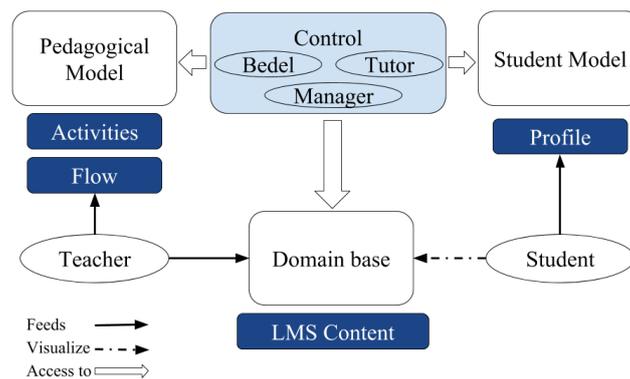


Figura 3. Modelo del sistema

Con el fin de evaluar el modelo, se construyó un prototipo utilizando el LMS Moodle. Esta elección se debe al hecho de que se trata de una herramienta flexible y de código abierto, que ofrece facilidades para el desarrollo. Se realizó la creación de un bloque Tutor para el LMS Moodle para su utilización en la configuración de los agentes del sistema. Los bloques en Moodle son herramientas que se pueden desarrollar como complementos para agregar cualquier nueva característica al Moodle LMS. A través de esta herramienta, el profesor implementa el diseño instruccional del curso estableciendo todos los flujos posibles, y configurando el agente, informando el nivel de dificultad de los contenidos y las relaciones entre los diversos ítems de los materiales de aprendizaje.

4. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO EN EL LMS SELECCIONADO

La implementación del prototipo utilizado para evaluar este modelo se realizó utilizando el LMS Moodle. Este entorno de aprendizaje, si bien no es un entorno adaptativo en sí mismo, ofrece algunos recursos útiles y herramientas que pueden integrarse fácilmente en un ITS, lo que resulta en un aprendizaje inteligente. Una de las características más importantes de los agentes es su capacidad de adaptarse a los cambios ambientales. Esta característica fue explorada para esta implementación, debido al constante cambio de los datos del estudiante en el sistema. Los agentes tienen la capacidad de proporcionar los recursos y actividades a los estudiantes de acuerdo a su desempeño, y también de actualizar la disponibilidad de estos recursos constantemente, cada vez que una nueva actividad es respondida por los estudiantes.

La adaptación del sistema se produce a través de las diversas respuestas de los agentes a los cambios del entorno, que se observan a través de las actualizaciones en la base de datos. Estas respuestas son proporcionadas por los agentes después de ejecutar sus propios planes, trabajando de acuerdo con la información recibida. El código de agente se desarrolló utilizando la plataforma de desarrollo Jason y el intérprete del lenguaje AgentSpeak, que es un lenguaje de programación de código abierto, orientado a agentes, distribuido bajo licencia GNU - LGPL (GNU Lesser General Public License) e implementado en Java.

Para la ejecución de la tarea de configurar los agentes por el profesor, se desarrolló un bloque Moodle especial, utilizando PHP, de acuerdo con la recomendación de pasos de creación de bloques disponible en el sitio Moodle.org. El nombre dado a este bloque es Tutor porque es usado por el profesor para configurar el agente de Bedel. De acuerdo con esta configuración, el entorno virtual puede presentar un comportamiento adaptativo y el estudiante puede recibir mensajes de un usuario especial de Moodle previamente registrado como Agente Tutor. Todas las instancias de los agentes Tutor utilizan el perfil de este usuario Moodle para enviar los mensajes y mostrar el seguimiento del estudiante durante el curso.

Para configurar el bloque Tutor, el profesor debe agregar este bloque al espacio de clase del curso. Además, el profesor tiene que proporcionar todo el contenido que pueden ser utilizados por los estudiantes durante el curso, y luego configurar el comportamiento de los agentes para ese curso. En primer lugar, se definen los niveles de dificultad de todos los recursos y actividades del curso y, a partir de ahí, se debe establecer el primer recurso y la primera actividad del curso.

La última parte de la configuración del bloque Tutor es la selección de los prerrequisitos para cada uno de los contenidos que pertenecen a la parte adaptativa del curso en esa clase. Para cada recurso y actividad se presentarán los recursos y actividades disponibles en la clase con opción de opción múltiple para seleccionar uno o más prerrequisitos y así generar un Gráfico de dependencia. Este recurso se utiliza para que el profesor pueda visualizar todas las posibilidades de flujos de dependencia entre las actividades del curso. Los agentes también utilizan este gráfico de flujos para configurar la interfaz del entorno de aprendizaje para el estudiante, de acuerdo con las actividades realizadas por él y los resultados obtenidos en estas actividades. La edición del gráfico de dependencia se permite durante el curso, pero el profesor debe preparar previamente el modelo pedagógico y los posibles caminos que pueden seguir los alumnos y establecer los prerrequisitos utilizando el bloque Tutor.

Los agentes Bedel también se configuran a través de este bloque, sin embargo, no utilizan ningún usuario del LMS. Todo el trabajo de los agentes de Bedel se realiza directamente en la base de datos del sistema. Los agentes de Bedel son responsables del comportamiento adaptativo del ambiente virtual mediante la configuración de la información adecuada en las tablas de la base de datos de Moodle. Con el fin de poner los recursos y actividades a disposición de los estudiantes, se utilizaron dos recursos en esta versión de Moodle. El primero es el recurso Moodle denominado Grupos, y el segundo es el Acceso restringido, que permite mostrar un recurso o actividad a los alumnos que obedecen la restricción configurada. La restricción definida es ser miembro de un grupo específico. Cada recurso y actividad está directamente relacionado con un grupo.

El agente de Bedel calcula el perfil del estudiante que ha sido evaluado y, con este perfil, conoce el nivel al que pertenece. De acuerdo con esta información, el agente define cómo el siguiente contenido tiene que ser mostrado al estudiante. Bedel comprueba si ya hay otro estudiante que tiene el mismo perfil para este mismo contenido y, si no, crea el grupo con el nombre Adaptación, seguido por la letra que representa el nivel básico, intermedio o avanzado y el id del recurso o Actividad que estará relacionada con ese grupo. Después de eso, inserta al estudiante en el grupo. Una vez que el estudiante está en el grupo, comienza a ver el contenido restringido para ese grupo. El Bedel calcula el perfil cada vez que necesita proporcionar nuevos contenidos a los estudiantes, es decir, siempre que haya un estudiante con una nueva evaluación. El agente comprueba si existe el grupo necesario para establecer la vista del estudiante sobre el entorno. En este caso, el agente agrega al estudiante al grupo apropiado, si no existe, crea un nuevo grupo y añade al estudiante.

La versión 2.9.1 de Moodle almacena toda la información del entorno en 328 tablas de la base de datos. Se han añadido algunas tablas adicionales para soportar el sistema: Tutor _student _evaluated: almacena los datos que los agentes necesitan para conocer el historial de rendimiento de los estudiantes; Tutor_bedel_course: almacena la información de las clases en las que se activó el bloque Tutor; Tutor_tutor_student: almacena la información de los estudiantes que pertenecen a una o más clases adaptables; Tutor_rec_act _profile: almacena la información del perfil (Básico, Medio, Avanzado, General) de cada uno de los recursos y actividades reportados por el profesor; Tutor_dependency: almacena la información sobre la configuración de prerrequisitos y dependencias. El gestor de agentes, Bedel y Tutor utilizan la información almacenada en estas tablas para ejecutar sus planes con el fin de convertir el Moodle LMS en un entorno adaptable.

5. APLICACIÓN DEL MODELO DE AMBIENTE VIRTUAL INTELIGENTE Y ADAPTATIVO EN UNA ASIGNATURA CON ESTUDIANTES

Además del desarrollo e implementación del modelo del sistema, el funcionamiento del sistema fue probado con estudiantes de nivel universitario, utilizando los contenidos de un curso básico de cálculo como un estudio de campo.

Esta prueba se realizó para verificar el correcto funcionamiento del sistema en un escenario real. Los resultados preliminares demuestran que el sistema funciona como se esperaba y los estudiantes recibieron el contenido de forma adaptativa. La prueba tuvo ocho participantes voluntarios que completaron todos los temas del curso. Para cada tema se evaluó a los estudiantes y se mostró el material para ellos teniendo en cuenta su desempeño en el contenido previo. Los estudiantes pasaron de básico a intermedio o avanzado y viceversa, dependiendo de los grados que tenían en cada evaluación. El agente de Bedel organizó el material para cada estudiante de forma independiente y el agente Tutor envió los mensajes según el perfil del estudiante en el momento.

Para este trabajo se tomó como base un modelo de entorno de aprendizaje adaptativo previamente desarrollado (Giraffa et al., 1998). Se realizaron mejoras en el modelo original para obtener la adaptabilidad en el ambiente de aprendizaje independientemente si varios

estudiantes están involucrados en diferentes cursos y cada curso tiene varias clases de estudiantes.

A continuación se muestran algunas imágenes del curso y las pruebas llevadas a cabo, guardando el anonimato de los participantes en todo momento. El curso fue diseñado en idioma portugués, aunque gran parte del contenido está ya traducido al inglés y se espera en el siguiente paso tenerlo en español. El curso está dividido en tópico 1, tópico 2, tópico 3, tópico 4 y tópico 5. Los dos primeros tienen el contenido que será adaptativo. Los últimos 3 tienen contenidos de apoyo. El curso es mostrado a los alumnos a partir del tópico 2, con el tema de Funciones (Funções) considerado el inicial y los temas que están a continuación se van abriendo a los alumnos conforme ellos van avanzando, realizando las actividades y siendo evaluados. Los temas del tópico 1 son de refuerzo y son mostrados para los alumnos que tienen alguna nota baja en los temas del tópico 2, siguiendo la configuración del sistema adaptativo. Por ejemplo, si el alumno tuvo una nota baja en "límites", el sistema mostrará números reales y potencias y raíces para él. De esta forma, el alumno ve temas que puede ser que necesite revisar con más detalle.



Figura 4. Pantalla inicial

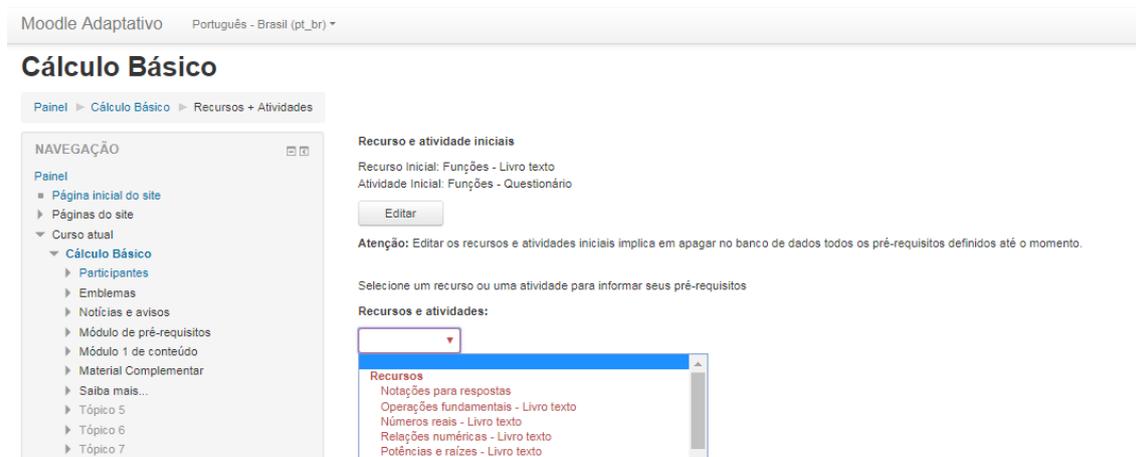


Figura 5. Configurando el bloque Tutor I

Painel > Cálculo Básico > Recursos + Atividades

NAVEGAÇÃO

Painel

- ▀ Página inicial do site
- ▀ Páginas do site
- ▾ Curso atual
 - ▾ Cálculo Básico
 - Participantes
 - Emblemas
 - Notícias e avisos
 - Módulo de pré-requisitos
 - Módulo 1 de conteúdo
 - Material Complementar
 - Saiba mais...
 - Tópico 5
 - Tópico 6
 - Tópico 7
 - Meus cursos

ADMINISTRAÇÃO

- ▾ Administração do curso
 - ✎ Ativar edição
 - ⚙ Editar configurações
 - Usuários
 - ▾ Filtros

Recurso e atividade iniciais

Recurso Inicial: Funções - Livro texto
 Atividade Inicial: Funções - Questionário

Atenção: Editar os recursos e atividades iniciais implica em apagar no banco de dados todos os pré-requisitos

Selecione um recurso ou uma atividade para informar seus pré-requisitos

Recursos e atividades:

Números rea ▾

Selecione os pré-requisitos

Recursos:

- Notações para respostas
- Operações fundamentais - Livro texto
- Relações numéricas - Livro texto
- Potências e raízes - Livro texto
- Logaritmos - Livro texto
- Números complexos - Livro texto
- Progressões e Séries - Livro texto
- Binômio e Produtos notáveis - Livro texto
- Polinômios - Livro texto
- Funções - Livro texto
- Limites - Livro texto
- Propriedades dos Limites - Livro texto

Figura 6. Configurando el bloque Tutor II

Cálculo Básico

Painel > Cálculo Básico > Recursos + Atividades

NAVEGAÇÃO

Painel

- ▀ Página inicial do site
- ▀ Páginas do site
- ▾ Curso atual
 - ▾ Cálculo Básico
 - Participantes
 - Emblemas
 - Notícias e avisos
 - Módulo de pré-requisitos
 - Módulo 1 de conteúdo
 - Material Complementar
 - Saiba mais...
 - Tópico 5
 - Tópico 6

Recurso e atividade iniciais

Recurso Inicial: Operações fundamentais - Livro texto
 Atividade Inicial: Operações Fundamentais - Questionário

Arvore de Pré-requisitos da turma

```

            graph TD
            Inicio((Inicio)) --> Operacoes_fundamentais_Livro_texto([Operacoes_fundamentais_Livro_texto])
            Inicio --> Operacoes_Fundamentais__Questionario([Operacoes_Fundamentais__Questionario])
            
```

Figura 7. Grafo de pre-requisitos configurado en el tutor para el tópico “Funciones primitivas e integrales”

Módulo 1 de conteúdo

Conteúdo

Nesta seção o aluno encontrará, de forma sequencial, o conteúdo básico de cálculo, desde funções até derivadas e integrais.

Antes de começar o curso, você pode testar seus conhecimentos respondendo o [Teste Inicial - Questionário](#) (este teste é para saber o quanto você conhece o conteúdo antes de fazer o curso). E, em seguida, pode começar com o conteúdo de [Funções - Livro Texto](#) (=)

- [Teste inicial - Questionário](#)
- [Funções - Livro texto](#)
 - [Funções - Questionário](#)
- [Limites - Livro texto](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação G 413](#) escondido caso contrário
- [Propriedades dos Limites - Livro texto](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação G 414](#) escondido caso contrário
 - [Limites - Questionário B](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação B 415](#) escondido caso contrário
 - [Limites - Questionário M](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação M 416](#) escondido caso contrário
 - [Limites - Questionário A](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação A 417](#) escondido caso contrário
- [Continuidade - Livro texto](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação G 418](#) escondido caso contrário
 - [Continuidade - Questionário B](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação B 419](#) escondido caso contrário
 - [Continuidade - Questionário M](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação M 420](#) escondido caso contrário
 - [Continuidade - Questionário A](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação A 421](#) escondido caso contrário
- [Derivadas \(I\) - Livro texto](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação G 422](#) escondido caso contrário
- [Derivadas \(II\) - Livro texto](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação G 423](#) escondido caso contrário
- [Derivadas - Propriedades - Livro texto](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação G 424](#) escondido caso contrário
 - [Derivadas - Questionário B](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação adicional B 425](#) escondido caso contrário
 - [Derivadas - Questionário M](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação M 426](#) escondido caso contrário
 - [Derivadas - Questionário A](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação A 427](#) escondido caso contrário
- [Diferencial - Livro texto](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação G 428](#) escondido caso contrário
- [Representação do diferencial - Livro texto](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação G 429](#) escondido caso contrário
- [Funções primitivas e integrais - Livro texto](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação G 430](#) escondido caso contrário
 - [Diferencial e Integral - Questionário B](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação B 431](#) escondido caso contrário
 - [Diferencial e Integral - Questionário M](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação M 432](#) escondido caso contrário
 - [Diferencial e Integral - Questionário A](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação A 433](#) escondido caso contrário
- [Teste de Aproveitamento - Questionário](#)
 - Disponível se: Você faz parte de [Adaptação G 434](#) escondido caso contrário
- [Pesquisa sobre o curso](#)

Prezado aluno, após ter finalizado o último teste, por favor, responda esta pesquisa rápida para saber o que achou do curso. Muito obrigada pela sua participação!

Certificados: Serão fornecidos certificados de conclusão de curso de extensão, com carga horária equivalente a 20 horas, aos alunos que finalizarem o curso e responderem a [Pesquisa sobre o curso](#). Estes certificados ficaram disponíveis em fevereiro de 2017.

 - Disponível se: Você obtém a pontuação necessária em [Teste de Aproveitamento - Questionário](#) escondido caso contrário

Figura 8. Ejemplo de módulo

Moodle Adaptativo Português - Brasil (pt_br)

Cálculo Básico

Painel > Cálculo Básico > Módulo de pré-requisitos > Operações Fundamentais - Questionário > Visualização prévia

NAVEGAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

1 2 3 4 5

Finalizar tentativa ...

Iniciar nova visualização

Questão 1

Ainda não respondida

Vale 1,00 ponto(s).

Marcar questão

Editar questão

Na resposta deve conter apenas a soma dos índices de cada proposição verdadeira

A cada questão incorreta será anulada duas corretas.

D1 A adição tem 6 propriedades

D2 A divisão tem 5 propriedades

D4 Recíproca é uma propriedade da divisão

D6 Adição e divisão possuem propriedades em comum

16 $a(b+4+c-a) = ab + 4a + ac - a^2$ é verdade pela propriedade da distributividade

32 $b + c + a + d = (b+c)+(a+d) = b+(c+(a+d)) = b + (c + a) + d$ é verdade pela propriedade da transitividade

Resposta:

Próximo

NAVEGAÇÃO

Painel

- Página inicial do site
- ▶ Páginas do site
- ▼ Curso atual
- ▼ Cálculo Básico
 - ▶ Participantes
 - ▶ Emblemas
 - ▶ Notícias e avisos
 - ▼ Módulo de pré-requisitos

Figura 9. Ejemplo de cuestionario

V. RESULTADOS LOGRADOS Y CONCLUSIONES

A. RESULTADOS

Los resultados experimentales confirman que el modelo presentado permite a los profesores ofrecer el contenido y las actividades de aprendizaje del curso en un entorno que se adapta al rendimiento de los alumnos. El sistema, que se inserta en el LMS Moodle, contiene un bloque de configuración que es fácil de usar y configurar por el profesor.

La contribución más relevante de este trabajo es la inserción de herramientas inteligentes y adaptativas en LMS de uso común, para que los profesores puedan llegar de forma personalizada a los estudiantes con diferentes niveles de conocimiento y habilidades.

Según el modelo propuesto y la validación implementada y descrita en la sección IV.A.4, el profesor crea el modelo pedagógico para la asignatura colocando en el ambiente el material y las actividades necesarias para el aprendizaje de los alumnos y el material teórico y/o práctico que debe tener diferentes niveles de exigencia académica (fácil, intermedio y difícil), no necesariamente en todos los temas, pero si en su mayoría, para poder alcanzar el objetivo deseado, teniendo contenidos de niveles variados para los alumnos. Después de insertar los materiales, el profesor indica su nivel y crea un árbol de secuencia entre ellos, colocando para cada uno de los materiales cuáles son sus prerrequisitos. Con esa configuración el agente Bedel tiene la información que necesita para dejar disponibles los materiales para los alumnos según su nivel de aprendizaje y desempeño. Un ejemplo para una asignatura básica de cálculo de ingeniería puede observarse en la siguiente figura.

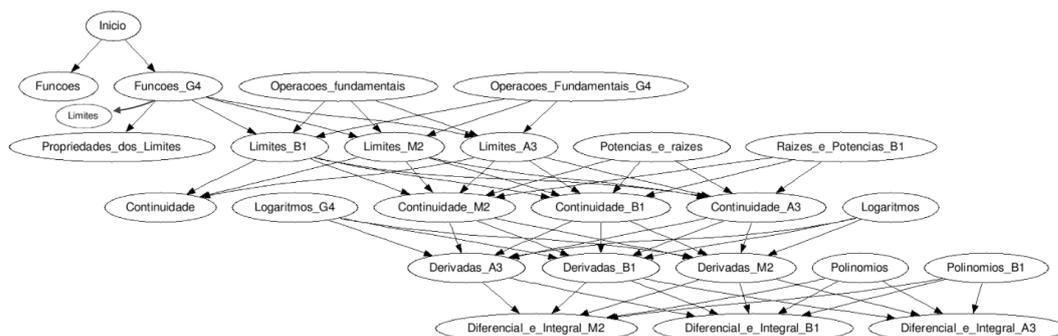


Figura 10. Árbol de secuencia.

El agente Tutor, por otro lado, es el que hace contacto con el alumno. Los materiales se irán mostrando al alumno según su perfil personalizado y además, después de cada actividad evaluada, el agente Tutor deberá verificar el avance, refuerzo o resultados obtenidos.

El modelo se ha probado en el ambiente virtual Moodle, instalado exclusivamente para la prueba del modelo. Se llevó a cabo la creación y adaptación de recursos y actividades de diferentes niveles de aprendizaje en un curso de cálculo básico.

Mediante el modelo propuesto en este proyecto, activo y de carácter formativo, los alumnos disponen de un espacio abierto, con el que se interactúa mediante un perfil individual y que facilita la:

- Formación continua
- Auto evaluación
- Interacción entre estudiantes
- Aprendizaje por descubrimiento mediante prácticas guiadas
- Puesta en marcha de modelos constructivistas de conocimiento
- Gestión de test y prácticas

Con la implementación del modelo y la experiencia de su funcionamiento **en este proyecto se comprueba la viabilidad del uso de tutores inteligentes dentro de ambientes virtuales de aprendizaje**. Además, con este proyecto se espera contribuir con el desarrollo de ambientes adaptativos que ayuden a mejorar la forma en que los alumnos aprenden, con la posibilidad de agregar adaptatividad en diversas asignaturas que pueden ser ofrecidas en cursos a distancia o presenciales. También, este trabajo espera contribuir en el aumento de las opciones de diseño instruccional que son usadas actualmente en el desarrollo de los cursos.

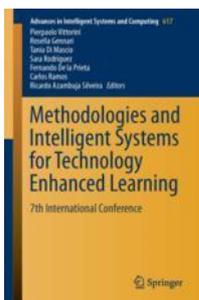
B. GRADO DE CUMPLIMIENTO

De acuerdo con la metodología y el plan de trabajo llevados a cabo, se tuvieron en cuenta dos tipos de indicadores para las medidas aplicadas para la evaluación de los resultados y su incidencia en la mejora del aprendizaje de los estudiantes:

- Indicadores del proceso clave: enseñanza/aprendizaje del alumno: indicadores sobre los procesos de apoyo, esto es, las etapas definidas para llevar a cabo el proyecto (revisión de literatura y análisis del estado del arte de las tecnologías empleadas, selección de técnicas y tecnologías a emplear, diseño del modelo de agentes para AVA, implementación del modelo en el LMS seleccionado, aplicación del modelo de ambiente virtual inteligente).
- Revisiones del diseño y baterías de pruebas del modelo en las fases del proyecto tanto individuales como de forma integrada.

Debido a los buenos resultados obtenidos, se asegura una línea de investigación que merece la pena ser explorada en sucesivos proyectos con una extrapolación del modelo a diferentes asignaturas y ámbitos.

Durante toda la duración del proyecto se ha llevado a cabo una coordinación entre los profesores del equipo. El equipo de investigación está especialmente satisfecho con la labor de innovación puesta en marcha del modelo y con las colaboraciones de investigación surgidas entre los grupos de Salamanca y Brasil. Decir que en el período de desarrollo del proyecto se definieron varias publicaciones algunas de las cuales ya están disponibles:



Palomino C.G., Nunes C.S., Silveira R.A., González S.R., Nakayama M.K. (2017) Adaptive Agent-Based Environment Model to Enable the Teacher to Create an Adaptive Class. In: Vittorini P. et al. (eds) Methodologies and Intelligent Systems for Technology Enhanced Learning. MIS4TEL 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 617. Springer, Cham

VI. MEMORIA ECONÓMICA

En el proyecto de innovación presentado se solicitaban 1000 Euros para el viaje de al menos un miembro del equipo de la UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil) a las instalaciones de la USAL para la colaboración en el proyecto en las etapas finales (aplicación del modelo de ambiente virtual inteligente), y material para almacenar información de gestión y relativa a la docencia y al LMS. No obstante, la cantidad concedida fue de 525 euros, lo que no nos ha permitido llevar a cabo las colaboraciones presenciales de los profesores implicados en el proyecto, pero si adquirir material de almacenaje y de trabajo, con el cual hemos podido trabajar en remoto y guardar información. En concreto, 4 memorias externa USB 3.0 de 64Gb con protección de datos, un Kit de mantenimiento de impresora HP color LaserJet, y un Cable VGA macho-macho de 1m junto con un adaptador de HDMI a VGA utilizadas para las videoconferencias. Las minutas originales se enviaron al Centro de Formación Permanente, el día 10 de julio del 2017.

VII. AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a la institución, la Universidad de Salamanca, su esfuerzo por mantener este tipo de proyectos de innovación. La dotación económica de este proyecto nos ha

permitido adquirir material para el desarrollo del proyecto y la motivación de este trabajo nos posibilita seguir trabajando en colaboración con miembros del Centro Tecnológico (CTC) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). También agradecer la colaboración desinteresada de aquellos alumnos que se ha prestado a colaborar en este proyecto.

VIII. REFERENCIAS

BROWN, J.S. AND BURTON, R.R. (1978). Diagnostic models for procedural bugs in basic mathematical skills, *Cognitive Science*, 2, 155-191.

BROWN, S. Y BURTON, R. R.; DE KLEER. (1982) Pedagogical, natural language and knowledge engineering techniques in Sophie In D. Sleeman and J. S. Brown, editors, ITS, 227-282, N.Y, Ac. Press.

BRUNER, J. (1991). *Actos de significado. Más allá de la revolución cognitiva*. Alianza. Madrid. 2002.

BURTON, R. R.; BROWN, J. S. (1981). An investigation of computer coaching for informal learning activities. In: Sleeman, D., Brown, J. (eds.): ITS, Cap. 4, 79-98, London: Ac. Press.

CARBONELL, J. R. (1970). AI in CAI: An artificial intelligence approach to computer assisted instruction. *IEEE transaction on Man Machine System*. Vol.11, Nro. 4, p. 190-202.

CLANCEY, W. J. (1991). *Intelligent tutoring systems: A tutorial survey, en Applied Artificial Intelligence: A Sourcebook*. McGraw-Hill.

GARDNER, H (1993). *Inteligencias Múltiples: La teoría en la práctica*. Paidós. Barcelona, Buenos Aires, México.

GARDNER, H (2001) *La inteligencia reformulada: las inteligencias múltiples en el siglo XXI*. Barcelona. Paidós.

GARDNER, H. (2000) *La educación de la mente y el conocimiento de las disciplinas*, Paidós.

GIL, ANTÔNIO CARLOS (2008). *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. 6ª Ed. São Paulo: Atlas.

GIRAFFA L. M. M., VICCARI, R. M. (1998) The use of agents techniques on intelligent tutoring systems. In *Computer Science. SCCC '98*.

GIUFFRA, C.E.P.; SILVEIRA, R.A. (2015). Nakayama, M, K. Using Agent Based Adaptive Learning Environments for Knowledge Sharing Management. *International Journal of Knowledge and Learning (Print)*, v. 10, p. 278-295,

GONZÁLEZ, C., BURGUILLO, J., LLAMAS, M., & LAZA, R. (2013). Designing Intelligent Tutoring Systems: A Personalization Strategy using Case-Based Reasoning and Multi-Agent Systems. *ADCAIJ: Advances In Distributed Computing And Artificial Intelligence Journal*, 2(1), 41-54. doi:10.14201/ADCAIJ2013244154

JOHNSON, W. L. (1986). *Intention-based diagnosis of novice programming errors*. Morgan-Kaufman.

LITMAN D. J. AND SILLIMAN. S. (2004). Itspoke: An Intelligent Tutoring Spoken Dialogue System. In *Proceedings of the Human HLT/NAACL*, Boston, MA, May.

LÓPEZ BARRIUSO, A., DE LA PRIETA, F., LOZANO MURCIEGO, Á., HERNÁNDEZ, D., & REVUELTA HERRERO, J. (2015). JOUR-MAS: a multi-agent system approach to help journalism management. *ADCAIJ: Advances In Distributed Computing And Artificial Intelligence Journal*, 4(4), 23-34. doi:10.14201/ADCAIJ2015442334

MATSUDA, N., COHEN, W. W., & KOEDINGER, K. R. (2005). Applying Programming by Demonstration in an Intelligent Authoring Tool for Cognitive Tutors. In *AAAI Workshop on Human Comprehensible Machine Learning (Technical Report WS-05-04)* (pp. 1-8). Menlo Park, CA

MILIK, N., MARSHALL, M., MITROVIC, A. *Teaching Logical Database Design in ERM-Tutor*. M. Ikeda, K. Ashley, and T.-W. Chan (Eds.): ITS 2006, LNCS 4053, pp. 707-709.

MITROVIC, A., SURAWEERA, P., MARTIN, B., ZAKHAROV, K., MILIK, N., HOLLAND, J. (2006) *Authoring constraint-based tutors in ASPIRE*. M. Ikeda, K. Ashley, and T.-W. Chan (Eds.): ITS 2006, LNCS 4053, pp. 41-50.

PERKINS, D. (1995) *La escuela inteligente*. Gedisa.

POZO, J. I. (1998). *Aprendices y maestros*. Alianza

RODRÍGUEZ, S., DE PAZ, Y., BAJO, J., & CORCHADO, J. M. (2011). Social-based planning model for multiagent systems. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 13005-13023.

RODRÍGUEZ, S., PÉREZ-LANCHO, B., DE PAZ, J. F., BAJO, J., & CORCHADO, J. M. (2009, July). Ovamah: Multiagent-based adaptive virtual organizations. In *Information Fusion, 2009. FUSION'09. 12th International Conference on* (pp. 990-997). IEEE.

SALGUEIRO, F., COSTA, G., CATALDI, Z., LAGE, F. GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2005b). *Nuevo Enfoque Metodológico para el Diseño de los Sistemas Tutores Inteligentes a partir de un Acercamiento Distribuido*. *Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales* 2(5):25-32

SATOH, I. (2013). Bio-inspired Self-Adaptive Agents in Distributed Systems. *ADCAIJ: Advances In Distributed Computing And Artificial Intelligence Journal*, 1(2), 49-56. doi:10.14201/ADCAIJ2012124956

SILVEIRA, R., KLEIN DA SILVA BITENCOURT, G., GELAIM, T., MARCHI, J., & DE LA PRIETA, F. (2016). Towards a Model of Open and Reliable Cognitive Multiagent Systems: Dealing with Trust and Emotions. *ADCAIJ: Advances In Distributed Computing And Artificial Intelligence Journal*, 4(3), 57-86. doi:10.14201/ADCAIJ2015435786

STEVENS, A.; COLLINS, A. (1977). *The goal structure of a Socratic tutor*. In Proceedings of the National ACM Conference. New York: ACM.

STONE WISKE, M. (2007A) Conferencia *Enseñar para la comprensión con nuevas tecnologías*. Universidad de San Andrés. 8 de mayo.

STONE WISKE, M. (2007b) Entrevista Clarín 27 mayo

TAPIA, D. I., FRAILE, J. A., RODRÍGUEZ, S., ALONSO, R. S., & CORCHADO, J. M. (2013). Integrating hardware agents into an enhanced multi-agent architecture for Ambient Intelligence systems. *Information Sciences*, 222, 47-65.

VANLEHN, K (1988). Student Modelling. M. Polson. Foundations of Intelligent Tutoring systems. Hillsdale. N.J. Lawrence Erlbaum Associates, 55-78

VANLEHN, K (1988). Student Modelling. M. Polson. Foundations of Intelligent Tutoring systems. Hillsdale. N.J. Lawrence Erlbaum Associates, 55-78

WOLF, B. (1984). Context Dependent Planning in a Machine Tutor. Ph.D. Dissertation, University of Massachusetts, Amherst, Massachusetts.

WOLF, B. (1984). Context Dependent Planning in a Machine Tutor. Ph.D. Dissertation, University of Massachusetts, Amherst, Massachusetts.