

Propuesta de mejora en el proceso de aprendizaje del alumno y su aplicación a una asignatura de Arquitectura de Computadores.

Lorenzo Moreno, Evelio J. González, Claudia L.O. Groenwald, Beatrice Popescu, Carina González

Title— Proposal for improving the student learning process and its application to a Computer Architecture course.

Abstract—This paper presents the approaches and computer tools used by a multidisciplinary group in order to improving teaching-learning process. It covers a wide range of tools: simulators, the Moodle platform and a series of tools to help in self-evaluation and to support the social creation of knowledge, that were applied to, among others, a course on Computer Architecture.

Index Terms—Computer science education, Programming, Computer architecture, Educational technology.

I. INTRODUCCIÓN

EN el proceso de convergencia europea, no cabe duda de que el Sistema Universitario Español ha adquirido una gran responsabilidad, teniendo que dar una respuesta satisfactoria a tan importante reto. Este proceso implica dar el paso desde una enseñanza-aprendizaje basada en la clase magistral y la clase de problemas (intercalando en enseñanzas experimentales un conjunto de prácticas de laboratorio) a un nuevo modelo de enseñanza-aprendizaje más centrado en la segunda parte del binomio. Es decir, se intenta pasar de un modelo centrado en el profesor, que provoca una gran pasividad en el alumnado con una enseñanza muy dirigida, conductista y con un alto grado de fracaso escolar, a un nuevo modelo más centrado en el alumno.

El Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) supone un cambio profundo en el modelo educativo. En efecto, este nuevo modelo más centrado en el alumno define una nueva unidad de medida, el crédito ECTS (European Credit Transfer System) que se centra en el trabajo que debe realizar un alumno, en vez del modelo anterior donde la unidad de medida se definía exclusivamente en función del número de horas de trabajo docente del profesor. Un crédito ECTS corresponde a 25 horas de trabajo del alumno, incluyendo en este número

tanto las horas docentes como las de estudio autónomo. Una característica muy importante de este proceso de convergencia es el nuevo método de evaluación basado en la evaluación continuada, a través de un seguimiento centrado en el grupo de trabajo, normalmente estable a lo largo de la duración de la asignatura. A estos cambios en el modelo de enseñanza-aprendizaje, se debe añadir los producidos por la evolución de las Nuevas Tecnologías (NNTT). Todo ello debe conducir a un sistema que facilitará el intercambio de alumnos entre diferentes Universidades europeas, pasando de las clásicas titulaciones de licenciado, ingeniero y cursos de doctorado a nuevas titulaciones de grado y posgrado, más flexibles y basadas en competencias y habilidades.

Afortunadamente este cambio radical de modelo de enseñanza no ha llegado de improviso, sino que se ha tendido hacia él desde hace algunos años, provocando un proceso de reflexión a profesores, autoridades académicas y alumnos. De hecho antes de que se implanten las nuevas titulaciones se han realizado cursos pilotos en las actuales titulaciones como adaptación paulatina al nuevo modelo.

No es intención de este trabajo entrar en los cambios en las titulaciones que implica el EEES, sino ilustrar sobre la experiencia, reflexiones y estudios realizados por los autores durante los últimos años en las asignaturas que imparten. Aunque la experiencia se ha adquirido principalmente impartiendo una asignatura de la titulación de Ingeniería Informática: *Arquitectura de Computadores*, los resultados producidos pueden aplicarse a cualquier asignatura de una titulación de Ciencias o Ingeniería. El trabajo realizado ha supuesto un esfuerzo importante de adquisición de conocimientos en el campo educativo [1], tratando de asimilar las nuevas tendencias, llevando las teorías educativas a la Informática y reciprocamente, diseñando nuevas herramientas informáticas para ser aplicadas en educación. En todo este proceso de aprendizaje en el campo educativo ha tenido un papel relevante la colaboración desde el año 2005 con el grupo GECM (Grupo de Estudos Curriculares em Educação Matemática) de la Universidad Luterana de Brasil (ULBRA), que ha permitido asimilar muchos conceptos del campo educativo, y experimentar las herramientas informáticas generadas en otras disciplinas como las Matemáticas.

Esta colaboración sirvió de catalizador en el proceso de transformación de nuestra asignatura hacia el nuevo modelo de enseñanza mediante el uso de la metodología de investigación-acción combinada con mapas conceptuales. En efecto, la utilización del método de investigación-acción [2] se ha aplicado para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje así

Lorenzo Moreno, Claudia L.O. Groenwald, Evelio J. González, Beatrice Popescu, Carina González y Vanessa Muñoz llevan a cabo su labor investigadora en el Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática y ATC, Universidad de La Laguna, La Laguna, CP 38206, Tenerife, España (e-mail: ejgonzal@ull.es).

Claudia L.O. Groenwald desarrolla su labor investigadora en la Faculdade de Matemática, Universidad Luterana de Brasil (ULBRA), Canoas-RS-Brasil-CEP92420-280.

DOI (Digital Object Identifier) Pendiente

como para la creación de alguna de las herramientas de simulación. El uso de mapas conceptuales ha sido constante en la exposición de las materias y en la concepción de la herramienta SCOMAX/SCOMIN, que es expuesta en este trabajo y que ha sido concebida en una doble vertiente:

- 1) Detección de los conocimientos previos de un alumno para realizar un aprendizaje centrado en el alumno (aprendizaje significativo)
- 2) Facilitar el autoaprendizaje y la autoevaluación en una enseñanza semipresencial o no presencial.

La investigación-acción creada por K. Lewin en 1944 es un proceso de reflexión, análisis y discusión para la mejora de la enseñanza mediante actividades colaborativas que buscan soluciones en el ámbito docente y en los que el investigador adquiere también el papel de participante. Cuando un tema a desarrollar en clase requiere por su complejidad, su importancia y su amplitud impartirlo en distintos cursos a lo largo de la titulación con diferente grado de profundidad, conlleva un procedimiento de búsqueda de soluciones para evitar solapamientos y/o repeticiones entre los diferentes profesores de la disciplina que intervienen en la impartición. Este proceso de investigación-acción se lleva a cabo en los siguientes pasos:

- 1) Insatisfacción con el estado actual de las cosas y por tanto identificación de un problema.
- 2) Formulación de varias hipótesis.
- 3) Selección de una de estas hipótesis.
- 4) Ejecución de una acción para comprobar la hipótesis.
- 5) Evaluación de los efectos de la acción y se sacan conclusiones.
- 6) Compartición de las conclusiones con profesores y alumnos.
- 7) Dependiendo de las conclusiones se puede volver al paso 2 para perfilar los objetivos más adecuadamente.

El método de investigación-acción servirá para optimizar la impartición de la materia en varios cursos, encontrando el temario en cada caso, el nivel adecuado, los objetivos concretos en cada curso y la bibliografía, así como en las mejoras en el diseño y validación de las herramientas de simulación que serán utilizadas a lo largo del curso.

Los mapas conceptuales [3] son unas herramientas gráficas para la organización y representación del conocimiento. Cada mapa conceptual se compone de conceptos, normalmente representados dentro de círculos o rectángulos, unidos jerárquicamente usando relaciones o preposiciones que pueden a su vez estar etiquetada mediante un enunciado descriptivo como “es parte de”, “depende de”, etc. Existen numerosas referencias bibliográficas que demuestran las ventajas del empleo de mapas conceptuales: mejoran la comprensión y retención de ideas, ayudan a la memorización de conceptos y relaciones, permiten personalizar el aprendizaje, la compartición de conocimiento y refuerzo de las habilidades de aprendizaje. Además, permiten su complementación con otros recursos docentes como son los Objetos de Aprendizaje

(Learning Objects- LOs) o con otros tipos de actividades como chats, foros, enlaces a páginas web, etc. Debido a su naturaleza, el empleo de mapas conceptuales se considera extremadamente útil para una docencia basada en aprendizaje significativo [4][5]. Este aprendizaje se basa en el conocimiento previo del alumno, dentro del cual se asimilan los nuevos conceptos, de ahí que sea aconsejable estimar el estado de conocimiento actual del alumno antes de proceder a la docencia de nuevos conceptos. En el presente trabajo se emplean, además de lo anterior, como base para las herramientas informáticas desarrolladas.

El resto del artículo analizará en más profundidad el desarrollo de la asignatura según la metodología comentada. En primer lugar describiremos la asignatura en su contexto enunciando sus competencias y cómo se desarrollan con las actividades planteadas. El resto de secciones se centran en cada tipo de actividad y en los resultados obtenidos hasta ahora con la aplicación de dicha metodología.

II. CON RESPECTO A LA ASIGNATURA DE ARQUITECTURA DE COMPUTADORES

La asignatura de Arquitectura de Computadores es una asignatura anual del último año de la titulación de Ingeniero en Informática. A lo largo de la titulación, el alumno ha tenido contacto con diferentes asignaturas sobre Diseño Lógico, Estructura de Computadores y Sistemas Operativos, de modo que cuando llega a la asignatura de Arquitectura dispone de unos conocimientos básicos sobre diseño, estructura clásica de Von Neumann, memoria virtual, etc.

La asignatura se organiza alrededor de los tres pilares básicos que han permitido el avance espectacular de los computadores: Jerarquía de memoria, estructura interna del procesador y redes de interconexión para sistemas multiprocesador y multicomputador.

La Figura 1 presenta el mapa conceptual de la asignatura. Dicho mapa conceptual ha sido concebido ubicando los conceptos en el mismo en el orden en que deben ser impartidos, comenzando desde la base del mapa.

En el contexto del EEES y a partir de los conocimientos previos comentados, se definen las siguientes competencias a adquirir por parte del alumno:

Capacidades transversales:

- Capacidad de análisis y síntesis
- Capacidad para comunicar ideas e información tanto por escrito como oral
- Habilidades básicas para la investigación
- Capacidad para organizar y planificar adecuadamente el trabajo
- Capacidad para trabajar el equipo
- Habilidad para relacionarse con los demás de forma eficaz
- Capacidad para liderar grupos de trabajo
- Capacidad para aprender a aprender

Capacidades específicas:

- Capacidad de comprender y analizar los mecanismos de Jerarquía de Memoria.
- Capacidad de comprender y analizar los aspectos de la estructura interna de los procesadores, incluyendo su evolución histórica
- Capacidad de comprender y analizar los aspectos relacionados con las redes de interconexión, tanto desde el punto de vista de los multiprocesadores como de los multicomputadores.

La utilización de simuladores en una asignatura de estas características es una práctica habitual [6][7]. Podríamos decir que la utilización de éstos es una condición necesaria en la docencia, ya que facilitan la comprensión de los conceptos vertidos en clase, sobre todo en casos en que por la gran cantidad de parámetros puestos en juego puede hacer difícil su comprensión por parte del alumno. Este es el caso de la jerarquía de memoria, las máquinas segmentadas, superescalares, VLIW/EPIC o multinúcleo [8][9][10]. Sin

embargo, los simuladores no son suficientes para el proceso de aprendizaje [1]. En efecto, para completar la formación, el alumno debe realizar además transferencias al mundo real y descubrir por sí mismo la importancia de los conceptos adquiridos cuando son aplicados a las máquinas presentes en el mercado actual, y descubriendo para cada caso las características de las diversas máquinas a analizar. Estas transferencias el alumno las realiza trabajando de forma colaborativa, en grupos de 2 ó 3 personas, estables a lo largo del curso y realizando presentaciones en clase delante del profesor y de sus compañeros y sometidos a las preguntas que les realicen el profesor y los alumnos.

Se ha comprobado que la participación de los alumnos en los turnos de preguntas en las presentaciones en clase es irregular, dependiendo de cada curso y del carácter de los alumnos. Aunque se promueve esta participación y se trata de crear un clima propicio para ello, la realidad es que no se alcanza un nivel satisfactorio. Afortunadamente, la tecnología ofrece actualmente herramientas informáticas para la enseñanza no presencial como la plataforma Moodle que palia

TABLA 1. RELACIÓN ACTIVIDADES/COMPETENCIAS PARA LA ASIGNATURA PROPUESTA.

ACTIVIDAD	CLASES TEÓRICAS	USO DE SIMULADORES	EXPOSICIONES	MOODLE	USO DE SIENA	TUTORÍAS
	45 HORAS	30 HORAS	20 HORAS	10 HORAS	30 HORAS	10 HORAS
COMPETENCIA						
ANÁLISIS Y SÍNTESIS	X	X	X	X	X	X
COMUNICAR IDEAS E INFORMACIÓN			X	X		X
HABILIDADES PARA INVESTIGACIÓN		X	X			
ORGANIZAR Y PLANIFICAR EL TRABAJO			X			X
TRABAJAR EN EQUIPO			X	X		
RELACIONARSE CON LOS DEMÁS			X	X		X
LIDERAR GRUPOS DE TRABAJO			X			
APRENDER A APRENDER	X	X	X	X		X
COMPRENDER JERARQUÍA DE MEMORIA	X	X	X	X	X	X
COMPRENDER LA ESTRUCTURA INTERNA DE PROCESADORES.	X	X	X	X	X	X
COMPRENDER REDES DE INTERCONEXIÓN	X	X	X	X	X	X

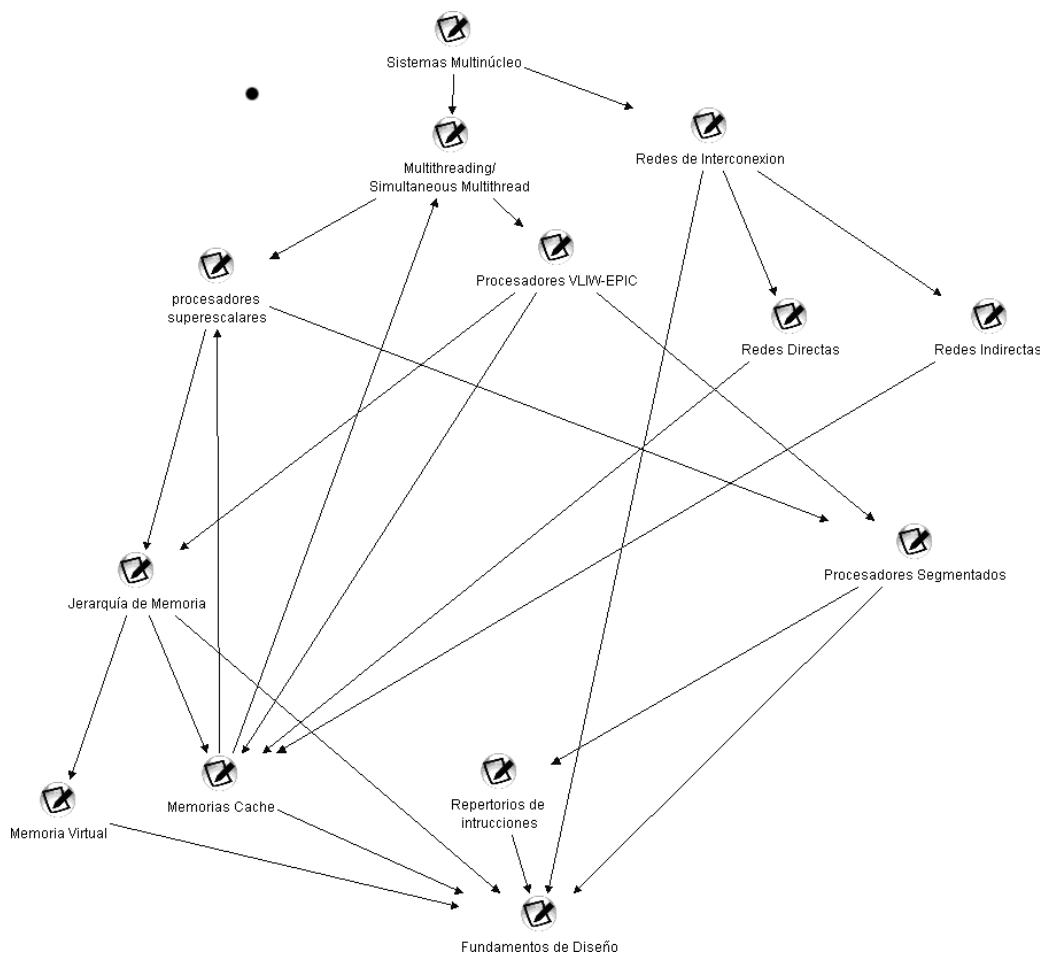


Figura 1: Mapa conceptual general de la asignatura

esta falta de participación activa del alumnado. Esta plataforma permite realizar foros y wikis para producir respectivamente debates y documentos colaborativos, moderados por el profesor en torno a temas puntuales de la asignatura. En estos foros on-line el alumno se desinhibe y establece una comunicación que, de forma presencial (probablemente debido al miedo escénico), le resulta más complicado.

En el aula virtual de la asignatura se puede encontrar el material elaborado por los alumnos durante los cursos anteriores. Estos materiales son de gran utilidad para los alumnos de los siguientes cursos en el proceso de comprensión de la asignatura.

En este trabajo, se presenta un prototipo de herramienta complementaria, denominada SCOMAX/SCOMIN [11], para la plataforma Moodle. La herramienta es una aplicación web para detectar los conocimientos previos de un alumno y de autoayuda, con objeto de realizar un aprendizaje centrado en el alumno. Esta herramienta se basa en el uso de mapas conceptuales, por lo que también se presentarán las actividades realizadas a partir del mapa conceptual de la asignatura.

Las actividades realizadas y su relación con las competencias definidas se muestran en la Tabla 1. En esa tabla se han incluido la actividad de tutorías, elemento clave para la

docencia en el EEES como orientación al alumno, el trabajo en equipo, las exposiciones en clase y por supuesto, las materias de que consta la asignatura, etc. Todo ello ha implicado una reducción de las clases magistrales en un tercio aproximadamente.

Se puede indicar finalmente que la transformación que se ha realizado en la asignatura se puede resumir en dar un gran apoyo al aprendizaje del alumno a través del empleo de simuladores, la utilización de la plataforma Moodle y la utilización de herramientas para la autoayuda. Los autores quieren, sin embargo, añadir que estas facilidades no hacen olvidar la importancia de la clase en donde la interacción del profesor con el alumno y de los alumnos entre sí son esenciales, por ello una apuesta importante en la asignatura son las tutorías y dentro de éstas las exposiciones en clase. En las próximas secciones se analizará la metodología empleada mediante el uso de los simuladores diseñados y de la herramienta complementaria.

III. SIMULADORES DE JERARQUÍA EN LA ASIGNATURA DE ARQUITECTURA DE COMPUTADORES

Aunque los alumnos en la asignatura emplean otros simuladores (DLX, DLXV, SimpleScalar, etc) en cada uno de los tres pilares de la asignatura, este apartado se centrará

exclusivamente en los simuladores que hemos realizado en la Universidad de Laguna en el marco de proyectos fin de carrera, con el objetivo de facilitar al alumno la comprensión de los conceptos vertidos en clase. Es importante indicar que aparte de que los simuladores diseñados constituyen una herramienta pedagógica de gran valor por sí mismos, la implicación de los alumnos durante el proceso de investigación-acción los ha dotado de un valor extra.

A. Simuladores para la Enseñanza-Aprendizaje de Jerarquía de memoria

Los simuladores en este apartado son un claro producto del proceso de investigación-acción. Los profesores implicados han realizado numerosas reuniones de trabajo, dando como resultado un mapa conceptual de la disciplina completa de jerarquía de memoria. Este mapa ha permitido delimitar los contenidos de cada asignatura en la que se imparte este contenido de jerarquía de memoria, mejorando la coordinación con otras asignaturas. A partir de este mapa, creado con una herramienta de software libre denominada Compendium [12], los alumnos han colaborado para incluir contenidos asociados en cada nodo, con lo que el mapa constituya un documento muy valioso de aprendizaje. Durante este proceso, se pasó revista a los diferentes simuladores existentes (principalmente Dinero [13]) para el estudio de la Jerarquía de Memoria (Memoria virtual; Memorias caché; Algoritmos de reemplazamiento locales y globales; TLB, etc.), concluyendo con la conveniencia del diseño de nuevos simuladores, específicos para fines docentes en el nuevo marco educativo.

correspondientes a la evaluación de la traza. Este sencillo simulador permite al alumno un aprendizaje a través de un proceso dinámico. Se han hecho algunas simplificaciones en el simulador con el objetivo de que resulte sencilla su utilización pensando sobre todo en el nivel del alumno.

De las sucesivas reuniones mantenidas por los profesores se planteó la acción de crear un nuevo simulador más complejo, que incorporara mayor flexibilidad y mayor envergadura de la que soportaba SIJEM, y que permitiera un aprendizaje más exhaustivo. Este nuevo simulador diseñado, denominado MNEME [11] (cuyo nombre hace referencia a la musa de la memoria en la mitología griega), pretende englobar todos los nuevos avances que ha habido en Jerarquía de Memoria, tanto en los niveles de caché (victim buffer, memorias inclusivas y exclusivas, tamaño de línea independiente en cada nivel, etc) así como los tópicos involucrados en multiprogramación para paginación en Sistemas Operativos. Se llegó a la conclusión de que dada la complejidad del nuevo simulador se requerirían realizar varios tutoriales con diferentes niveles para introducir el simulador de forma adecuada. En la Figura 2 se puede apreciar una captura de pantalla de la herramienta.

En el proceso de investigación-acción, y a partir de las reuniones mantenidas entre profesores y alumnos, han surgido posibles mejoras para este último simulador MNEME y sobre nuevos conceptos a incluir. Se coincidió en que el nuevo simulador MNEME II debería incluir la jerarquía de memoria de los sistemas multinúcleo e incorporar los sistemas multiprocesador de memoria compartida. En estos momentos se dispone de una versión beta de este nuevo simulador.



Figura 2: Herramienta MNEME

Tras este análisis, se elaboró un primer programa de simulación denominado SIJEM [14] para la asignatura de Estructura de Computadores. Este programa, a través de una interfaz visual, ilustra los conceptos antes mencionados, configurando una gran cantidad de parámetros. Una característica importante del simulador SIJEM es el hecho de producir pasos hacia delante y hacia atrás en la traza. Además, se ha incluido un código de colores como elemento de ayuda para descubrir lo que está ocurriendo en cada momento (fallo de página, éxito en la búsqueda), así como las estadísticas

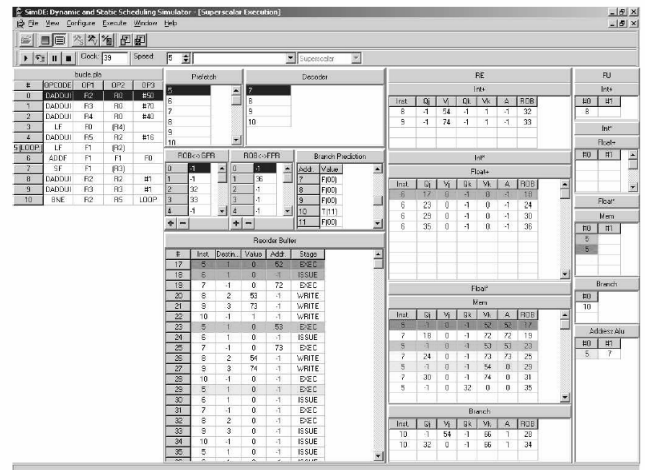


Figura 3: Herramienta SIMDE

B. Simulador de Procesadores Superescalares y VLIW/EPIC (Very Long Instruction Word/Explicitely Parallel Instruction Computer)

A pesar de la existencia de simuladores cubriendo estos tópicos WinMIPS64 [15] (RISC), WinDLXV [16] (vectorial), MIDAS [17] and SATSim [18] (superescalar), TMS320C6xxx (VLIW)... en la bibliografía no aparecía en su momento ningún simulador que incluyera los procesadores ILP (Instruction Level Parallelism) en el doble aspecto de

procesadores Superescalares y procesadores VLIW y EPIC, lo cual dificultaba su comparación desde un punto de vista pedagógico.

Dentro del proceso de investigación-acción se consideró la idoneidad de un simulador que incluyese simultáneamente ambas aproximaciones, y que permitiera encontrar las similitudes y diferencias entre ambos tipos de arquitecturas. Para ello, se definió una estructura básica común a ambas arquitecturas incluyendo los siguientes componentes: repertorio de Instrucciones, registros de propósito general y en punto flotante, memoria y unidades funcionales. El número de estas unidades funcionales de cada tipo debería ser definido por el usuario, así como el número de etapas de los cauces segmentados de cada una.

El procesador superescalar está basado en una generalización del algoritmo de Tomasulo para implementar la gestión dinámica de las instrucciones e incorpora un predictor de branch bimodal de 2 bits [19]. El procesador VLIW/EPIC implementado en el simulador está basado en una palabra larga con un número de instrucciones en ella dependiendo del número de unidades funcionales definidas por el usuario.

El simulador resultante, denominado SIMDE, al contemplar ambas implementaciones (superescalar y VLIW/EPIC), permite evaluar el número de ciclos que tarda en ejecutarse un trozo de código en ambos tipos de máquinas en diferentes situaciones: sin optimizar el código u optimizándolo a través de cualquiera de las técnicas utilizadas por un compilador. Es importante indicar que en este último caso, tiene que ser optimizado por el usuario al no disponer del compilador, lo que por otra parte aumenta su interés pedagógico. La versatilidad del simulador permite a los alumnos, mediante todo el proceso dinámico de simulación, comprender en profundidad los fundamentos de la planificación dinámica/estática de las instrucciones, sus ventajas e inconvenientes, diferenciando claramente su potencialidad en función de la aplicación. En la Figura 3 se puede apreciar una captura de pantalla de la herramienta.

C. Actividades realizadas con los simuladores

Además de la implicación del alumnado en la depuración y mejora de los simuladores, se propone ejercicios a resolver sobre análisis y optimización de código, uso de algoritmos específicos de los tipos de máquinas simuladas. El alumno realiza el ejercicio de forma autónoma (siempre bajo la supervisión y seguimiento del profesor de la asignatura) y expone el resultado en clase. Esto permite desarrollar las competencias según lo indicado en la Tabla I.

IV. UTILIZACIÓN DE LA PLATAFORMA MOODLE.Y EXPOSICIONES

La plataforma Moodle ha sido utilizada en la asignatura de modo estándar: como repositorio de alumnos, profesores de la asignatura y de los grupos de trabajo organizados cada año al principio del curso escolar. Igualmente, sirve como

repositorio para los diferentes trabajos que recogen las presentaciones en clase realizadas por los grupos de alumnos, y que consisten en ejemplos extraídos del mundo real y que los alumnos desarrollan, para los diferentes tipos de computadores en el mercado, los aspectos vistos en clase sobre jerarquía de memoria, tipo de procesador, repertorio de instrucciones, etc. Actualmente se dispone de las presentaciones realizadas en los últimos 5 cursos académicos. Esta exposición se considera muy importante en la evaluación del alumno, puesto que en ella se desarrollan un gran porcentaje de las competencias descritas. Por ello, se planifica que el alumno invierta una cantidad de tiempo significativa en la actividad e incluso se base en los simuladores descritos en la anterior sección.

Ha sido práctica habitual la realización de wikis sobre aspectos relacionados con la asignatura. En ellos los alumnos contestan a preguntas realizadas por el profesor, convirtiéndose estos wikis en auténticos documentos de trabajo, muy útiles a los alumnos de las siguientes promociones. Se utilizan regularmente los foros y ocasionalmente se ha abierto encuestas para conocer la opinión de los alumnos sobre el funcionamiento de alguno de los simuladores implementados.

V. NUEVAS HERRAMIENTAS

A continuación, se presenta una serie de herramientas informáticas que permiten mejorar la metodología docente en el entorno EEES. Como muchas de las herramientas planteadas en este artículo, su aplicación es general, independiente del campo del conocimiento de la asignatura.

Los procesos de aprendizaje y de construcción de conocimiento tienen lugar a través de la negociación de significados realizados en contextos sociales. Teniendo en cuenta este hecho, para el desarrollo de buenas prácticas en el aprendizaje en línea se recomienda utilizar una metodología didáctica que promueva el desarrollo de comunidades de aprendizaje [20][21]. Por ello, la tecnología debe adaptarse para así poder explotar su papel en la mejora de los procesos interactivos que se desarrollan dentro de los entornos de teleformación y para potenciar la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje en línea. Actualmente se están creando nuevas herramientas acordes a la web social, pero que presentan claras deficiencias en su papel de facilitadoras de los procesos de gestión y organización de las intervenciones, el empaquetamiento del conocimiento generado para su reutilización, el seguimiento ágil y eficaz de los procesos interactivos y de producción de discurso, o la evaluación de las intervenciones y del conocimiento que se va generando [22]. Por ello, se hace necesario crear herramientas que faciliten y apoyen los procesos comunicativos, colaborativos y de construcción del conocimiento.

A. Funcionamiento de la herramienta SCOMAX

La primera de las herramientas denominada SCOMAX (Student Map Conceptual Explorer) es una aplicación web y se ha diseñado para detectar los conocimientos previos de un

alumno o como ayuda para la autoevaluación, con objeto de realizar un aprendizaje centrado en el alumno (aprendizaje significativo). Esta herramienta está pensada para trabajar con mapas conceptuales, creados por el profesor, que contengan los conceptos organizados en el mapa partiendo desde los conceptos objetivos hasta los conocimientos previos. Es decir, en un mapa dado, un concepto A aparecerá antes de un concepto B, si para entender el concepto B se precisa del conocimiento previo del concepto A. En el estado actual del trabajo, el mapa conceptual es generado mediante la herramienta Compendium, exportándolo a continuación en un formato XML para ser incorporado a la herramienta SCOMAX.

Dado el mapa conceptual de una determinada materia, SCOMAX permite identificar cuáles de los conceptos que aparecen en dicho mapa son conocidos por alumnos y con qué profundidad. Para ello, se deben definir cuáles son los conceptos previos y los conceptos objetivos a evaluar. El siguiente paso consiste en incorporar a la herramienta SCOMAX, para cada concepto, las preguntas que queremos realizar al alumno. Estas preguntas han de ser de denominadas de "Múltiples choices", es decir donde el alumno se le dan varias posibles respuestas y éste debe escoger una de ellas. Las preguntas responderán a varios niveles de dificultad y habrá que definir para cada pregunta algunos parámetros (entre 0 y 1), como son:

- 1) El grado de relación de la pregunta con el concepto.
- 2) El grado de dificultad de la pregunta
- 3) La respuesta verdadera
- 4) Adivinanza, es decir si es fácil responder a la pregunta considerando exclusivamente la suerte, el azar.
- 5) La estimación del conocimiento previo que el alumno tiene sobre ese concepto.
- 6) El tiempo de respuesta en segundos que se le permite al alumno para contestar la pregunta.

Definir todos estos parámetros para cada pregunta puede resultar muy tedioso, pero es imprescindible pues SCOMAX incluye un test adaptativo basado en redes bayesianas, el cual es capaz, en función de las respuestas del alumno, estimar el grado de conocimiento del alumno para ese concepto. Para ello, este test lanza preguntas al alumno con un nivel de dificultad determinado en función de las respuestas del alumno a preguntas anteriores. Es decir, si el alumno va contestando correctamente, entonces el sistema va subiendo paulatinamente el grado de dificultad de la siguiente pregunta. Por el contrario, si a partir de un determinado momento el alumno falla una pregunta, el sistema baja el nivel de dificultad de la siguiente pregunta. Además, el sistema dispone de un mecanismo de parada bien para cuando ya no puede obtener una mayor estimación sobre el grado de conocimiento de un concepto, o bien porque no existen más preguntas. Por esta última razón, se recomienda que para cada concepto existan al menos una docena de preguntas de diferentes niveles de dificultad.

La herramienta informática SCOMAX parte de los conceptos previos definidos en el mapa y comienza a evaluar

los conceptos progresando en el mapa siempre que el alumno vaya superando al menos con una nota de 0.5 los conceptos. Cuando un concepto no sea superado el sistema no prosigue evaluando por esa rama del mapa, pues se entiende que si ese concepto no ha sido superado no lo serán otros conceptos que van a continuación y que precisan del conocimiento de aquél que no fue superado.

El sistema mostrará para cada concepto cuáles fueron las preguntas realizadas, cuáles fueron contestadas correctamente y cuál es la estimación realizada por el sistema sobre el grado de conocimiento de cada concepto.

El sistema SCOMAX está diseñado para que constituya una herramienta de evaluación de las diferentes asignaturas de un curso completo, o los diferentes temas de una disciplina completa o ambas cosas.

B. Herramienta Combinada SCOMAX/SCOMIN

A la herramienta anterior se la ha incorporado la herramienta SCOMIN (Student Concept Map Introspective), permitiendo la incorporación de contenidos de aprendizaje, con lo que a la acción de autoevaluación se le incluye la de autoaprendizaje. Dicha combinación de herramientas posibilita que sobre cada nodo de un mapa conceptual dado se le incorporen los contenidos, o mejor dicho los enlaces a los contenidos que el profesor considere. Realmente el sistema está preparado para incorporar dos tipos de contenidos: contenidos que un alumno deberá estudiar la primera vez que se enfrente con ese concepto, o bien contenidos para recuperación, que se deberían estudiar cuando un alumno no supera un test realizado sobre ese concepto. En la Figura 2 se puede apreciar una captura de pantalla del uso conjunto de las herramientas.

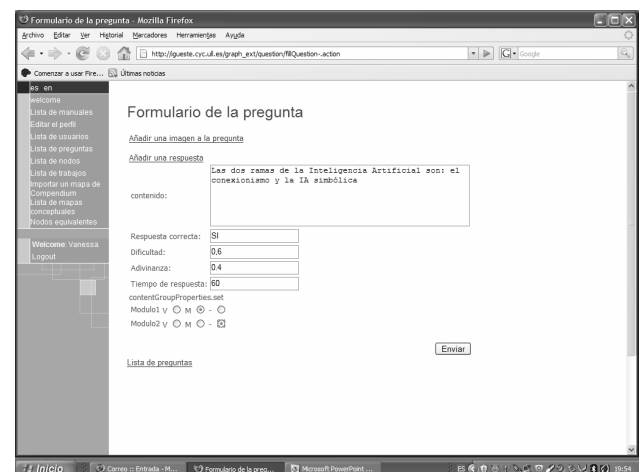


Figura 4: Herramientas SCOMAX/SCOMIN

C. Herramienta SIENA de apoyo a la construcción social del conocimiento

Teniendo en cuenta las tendencias actuales en la creación de herramientas colaborativas y de construcción social del conocimiento, los autores están trabajando en una nueva

evolución de la herramienta combinada SCOMAX/SCOMIN denominada SIENA (Sistema Integrado de ENseñanza-Aprendizaje), que intenta resolver el problema relacionado con el manejo del flujo de información en un entorno colaborativo de construcción del conocimiento, y que a su vez a través del cuestionamiento progresivo de las anteriores herramientas, permita que los estudiantes sean más conscientes de la naturaleza del proceso de construcción de su propio conocimiento [23][24][25][26].

Para el soporte colaborativo de la herramienta se ha englobado un sistema de mensajería instantánea (Jabber) que facilita la interacción entre los participantes en la construcción del proceso de aprendizaje. Al mismo tiempo, el registro de las intervenciones de los alumnos sirve de apoyo a la construcción social del conocimiento. A través de la interacción social, las contradicciones, las incoherencias y las limitaciones de un estudiante al dar explicaciones sobre un determinado problema se perciben conceptualizaciones desde diferentes puntos de vista.

Con el fin de lograr intervenciones más reflexivas, en SIENA podrá categorizar las aportaciones según el tipo de pensamiento al que van sujetas. Así, si un alumno quiere hacer una aportación debe decidir primero qué categoría de pensamiento está usando, ya sea una hipótesis, idea, síntesis, problema, pregunta, etc. Con esto se conseguirá que las intervenciones sean más reflexivas y de más calidad.

D. Aplicación a la Asignatura de Arquitectura de Computadores

En el presente curso académico se está empleando el conjunto SCOMAX/SCOMIN en la creación de contenidos y preguntas para el test en cada uno de los temas de la asignatura de Arquitectura de Computadores. La característica novedosa consiste en que esta información va a ser creada por los alumnos en colaboración con los profesores de la asignatura, dotando en definitiva de contenido a cada nodo del mapa conceptual. La hipótesis en que se basan los autores es que sólo se pueden crear unos auténticos contenidos y elaborar un extenso conjunto de preguntas inteligentes si se posee un buen conocimiento del tema de trabajo. Esto implica un esfuerzo por parte del alumno que redundará en su propio beneficio. Los profesores realizan con cada grupo de alumnos reuniones periódicas donde se analizan las preguntas que ya han sido elaboradas por los alumnos. Los profesores transmiten ideas para nuevas preguntas, se corrigen los niveles de dificultad de las preguntas ya creadas, etc. En cuanto a los contenidos el profesor, además de los apuntes del tema desarrollado en clase, suministra a los alumnos libros, revistas, enlaces a webs, etc. con objeto de que el grupo elabore de forma colaborativa unos buenos contenidos a partir de la información dada, con ejemplos prácticos realizados en los simuladores, ejercicios propuestos etc. El objetivo es ir creando unos materiales que se irán perfeccionando paulatinamente en sucesivos cursos.

Una vez desarrollado un tema por el profesor de la asignatura (ver Figura1) el grupo de alumnos que elija ese tema se encargará de crear los contenidos del tema y el diseño

de las preguntas del test tratando de seguir el modelo PI (Progressive Inquiry) de la siguiente forma :

a) Configurar el contexto: se realizan preguntas acerca de los principales problemas respecto al dominio de conocimiento sobre un determinado tema o validación de situaciones o problemas del mundo real.

b) Presentación de problemas: se realizan preguntas o problemas que guían el proceso, explicación-búsqueda de preguntas tipo “por qué” y “cómo”.

c) Creación de teorías de trabajo: se realizan conjeturas, hipótesis, teorías o interpretaciones para el problema objeto de estudio; asimismo, se deben explicar y externalizar las concepciones intuitivas (por ejemplo, escribir sobre sus ideas previas que se tenían sobre el problema o tema que se está estudiando).

d) Evaluación crítica: se evalúan las fortalezas y las debilidades de las diferentes explicaciones e identificar explicaciones contradictorias, las lagunas de conocimientos, y las limitaciones que tiene una explicación intuitiva (dadas en la fase anterior).

e) Profundizar en la búsqueda de conocimiento: se realiza una búsqueda de nueva información sobre el problema que se está estudiando.

f) Profundizar en los problemas: se buscan deficiencias o limitaciones, preguntas y teorías que pueden orientar la investigación.

Todos los aspectos del cuestionamiento progresivo, tales como la creación de preguntas de investigación, la búsqueda de nueva información científica, la construcción de las propias teorías de trabajo o la evaluación de las explicaciones tienen que ser compartidos con otros participantes de proceso. Esta es la última fase del proceso de cuestionamiento, llamado "distribución de conocimientos" y que consiste en la explicación de un problema a otros participantes.

VI. RESULTADOS OBTENIDOS

Podemos distinguir en este apartado de resultados entre cualitativos y cuantitativos. En cualquiera de los casos, debido al número de alumnos matriculados en la asignatura (entorno a la veintena de alumnos en los tres años analizados), dichos resultados indican una tendencia, pero se debe tener un periodo más amplio para que se le puedan dar un valor significativo.

En primer lugar se referirá la evaluación de las calificaciones de los alumnos durante tres años consecutivos. Durante el primer año se empleó una metodología tradicional basada en clases teóricas. Los simuladores indicados en los apartados anteriores se introdujeron en el segundo año y complementados con la metodología planteada durante el tercer año. La implantación del modelo centrado en el alumno implica un cambio en la evaluación de los alumnos desde una calificación basada casi en exclusiva en un examen teórico-práctico a una media ponderada según lo siguiente:

TABLA 2
EVOLUCIÓN DE LAS NOTAS DE LOS ESTUDIANTES

Calificación	Sin simuladores	Con simuladores	Con metodología
Suspenso	27.59%	4.35%	0.00%
Aprobado	41.38%	65.22%	41.03%
Notable/Sobresaliente	31.03%	30.43%	58.97%

- 50 % : seguimiento del alumno en las tutorías (grado de satisfacción de las competencias transversales y específicas)
- 30 %: exposición en clase
- 10 %: resolución de problemas planteados
- 10 %: interacción con la plataforma.

Como se puede apreciar las calificaciones han sufrido una evolución positiva, aunque, tal como se indicó anteriormente es necesario confirmarla en los próximos cursos.

En lo referido a los simuladores propuestos han sido validados por una media de 4 grupos de alumnos de 5º curso de la Ingeniería Informática, con amplia experiencia en la utilización de simuladores y en programación. Estos alumnos realizaron una validación de tipo colaborativo por grupo, aunque cada miembro del grupo tuvo que completar una encuesta realizada de forma individual. Los resultados se comentan a continuación.

El 100% de los alumnos afirmó que al menos probaron los simuladores entre 3 y 6 horas antes de contestar el cuestionario. Dicho cuestionario constaba de una serie de preguntas referentes tanto a aspectos educativos y técnicos como de funcionalidad del software. También se les ofreció la oportunidad de que indicaran cuáles eran las mejoras que a su juicio deberían ser implementadas en el programa. Sobre este punto es importante destacar que el 90% afirmó que no conocían software alguno que fuera similar al propuesto.

En el aspecto educativo los alumnos afirmaron en un 90% que el software ayuda a comprender mejor los contenidos, mientras que el 70% dijeron que además es capaz de mantener el interés. Finalmente se les pidió a los alumnos que indicaran aquellos aspectos que eran mejorables y propusieran algunas modificaciones. La mayor parte de los encuestados afirmaron que el software era interesante y que tiene un gran potencial de cara a su formación; al mismo tiempo que se mostraron partidarios de que era necesario mejorar la experiencia del usuario. En este sentido los alumnos se inclinaron por mejorar los sistemas de ayuda.

Por último, el conjunto de herramientas SCOMIN/SCOMAX con el entorno colaborativo SIENA ha pasado recientemente un proceso de validación exhaustivo por parte del Grupo de Estudios Curriculares de Educação Matemática (GECM) de la Universidad Luterana de Brasil que lo ha aplicado a la enseñanza de Matemáticas. Esa validación ha sido simultánea con una validación realizada por los autores en la asignatura analizada en este artículo. En

próximos cursos se aprovecharán los resultados de esta validación en una mayor utilización de estas herramientas en el aprendizaje de otros tópicos.

VII. CONCLUSIONES

Las ideas de renovación en torno a la convergencia europea que hemos tratado de exponer en este artículo desde la perspectiva de la enseñanza en una asignatura de Arquitectura de Computadores, creemos que son válidas en general para la enseñanza en ciencias y en Ingeniería. Hemos desarrollado, dentro de una estrategia de investigación-acción, varios simuladores y herramientas informáticas de autoevaluación basadas en mapas conceptuales y test adaptativos, para tratar de dar al alumno mayores posibilidades de autoaprendizaje y en cuanto al profesor, hemos reducido el número de clases magistrales, haciendo éstas más generalistas, sin incluir tanto detalle y hemos dado un cambio drástico al proceso de tutorías, las cuales permitirán realizar un aprendizaje significativo, cada vez más centrado en el alumno.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el proceso de verificación de las herramientas al Grupo de Estudios Curriculares de Educação Matemática (GECM) de la de la Universidad Luterana de Brasil.

REFERENCIAS

- [1] L. Moreno, C.S. González, I. Castilla, E.J. González, J.F. Sigut. Applying a Constructivism and Collaborative Methodological Approach in Engineering Education. *Computers and Education Journal*, Vol. 47, Num. 3, Pag: 891-915, Año: 2007
- [2] F.A. Heller. Group feedback analysis as a method of action research. In A.W. Clark, *Experimenting with organisational life*. New York: Plenum, 1976
- [3] Novak, J.D. Clarify with concept maps: A tool for students and teachers alike. *The Science Teacher*. 1991, 58(7), 45-49.
- [4] Novak, J.D. Clarify with concept maps: A tool for students and teachers alike. *The Science Teacher*. 1991, 58(7), 45-49.
- [5] Novak, J. D. How do we learn our lesson? : Taking students through the process. *The Science Teacher*. 1993, 60(3), 50-55.
- [6] L. Moreno, E.J. González, B. Popescu, J. Torres, J. Toledo, C.S. González. "Simuladores de Jerarquía de Memoria en el Contexto de un Proceso de Investigación-Acción". XIII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática. Teruel, España, Julio 2007

- [7] L. Moreno, C.S. González, I. Castilla, E.J. González, J.F. Sigut. "Use of Constructivism and Collaborative Teaching in an ILP Processors Course". IEEE Transactions on Education, Volumen: 2 (50). 101-111, 2007
- [8] J.L. Hennessy, D.A. Patterson "Computer Architecture. A Quantitative Approach" Third Edition. Morgan Kaufmann Publishers 2003.
- [9] S. McFarling "Combining branch Predictors" digital Western Research Laboratory 1993
- [10] J. Huck, D. Morris, J. Ross, A. Knies, H. Mulder, R. Zahir "Introducing the IA-64 Architecture" IEEE Micro September-October 2000, pag. 12- 23.
- [11] L. Moreno, E.J. González, J.D. Piñeiro, B. Popescu, A. Hamilton, J.F. Sigut, J. Torres, J. Toledo, J.J. Merino, C.S. González. "Hacia un Sistema Inteligente basado en Mapas Conceptuales Evolucionados para la Automatización de un Aprendizaje Significativo. Aplicación a la Enseñanza Universitaria de la Jerarquía de Memoria". XIII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática, Teruel, España, Julio 2007.
- [12] Compendium: <http://compendium.open.ac.uk/>. Última visita: 10-nov-2009.
- [13] J. Edler and M. Hill, "Dinero IV: Trace-Driven Uniprocessor Cache Simulator," <http://pages.cs.wisc.edu/~markhill/DineroIV/> Última visita: 10-nov-2009.
- [14] SIJEM: <http://www.isaatc.ull.es/portal/proyectos/sijem>. Última visita: 10-nov-2009.
- [15] M. Scott, "WinMIPS64," <http://www.computing.dcu.ie/~mike/winmips64.html>. Última visita: 10-nov-2009.
- [16] P. López and R. Calpé, "WinDLXV," Universidad Politécnica de Valencia. <http://atc2.aut.uah.es/~vec/material/WinDLXV.pdf>. Última visita: 10-nov-2009.
- [17] J. Silhan and C. Fuss, "MIDAS Beta-1," <http://icaro.eii.us.es/descargas/R10kSim.zip>. Última visita: 10-nov-2009.
- [18] M. Wolff and L. Wills, "SATSim: A Superscalar Architecture Trace Simulator Using Interactive Animation," <http://www.ece.gatech.edu/research/pica/SATSim/satsim.html>, June 2000. Última visita: 10-nov-2009.
- [20] Cuppu, "Cycle Accurate Simulator for TMS320C62x, 8 way VLIW DSP Processor," citeseer.ist.psu.edu/416529.html, 1999. Bereiter, C. y Scardamalia, M. (2003). Learning to work creatively with knowledge. En E. De Corte, L. Verschaffel, N. Entwistle y J. van Merriënboer (Eds.), Unravelling basic components and dimensions of powerful learning environments. EARLI Advances in Learning and Instruction Series.
- [21] R. M. Tomasulo, "An efficient algorithm for exploiting multiple arithmetic units," IBM Journal Research and Development, vol. 11, no. 1, pp. 25-33, January 1967.
- [22] Salmon G. (2005). E-tivities, The key to active online learning (2nd ed.). London: Routledge Falmer.
- [23] Kanuka, H. y Garrison, D.R. (2004). Cognitive Presence in Online Learning. Journal of Computing in Higher Education, 15 (2), 30-48.
- [24] García González U., Gros Salva B.t, Lara Navarra P., López Ruíz L., Maniega Legarda D., Martínez Aceituno T., Mas García X. (2008). Revisando el diseño de los foros electrónicos para mejorar el apoyo a la construcción colaborativa de conocimiento. Virtual Educa 2008. Zaragoza.
- [25] Hoppe, U. (1995). The use of multiple student modelling to parametrize group learning. Greer, J. (Ed.), Proceedings of World Conference on Artificial Intelligence in Education, pp. 234-241.

- [26] Le Mans, France. Mühlenbrock, M., Tewissen, F., Hoppe, H.U. (1998). A framework system for intelligent support in open distributed learning environments. International Journal of Artificial Intelligence in Education, Vol. 9, 256-274. Novak, J.D. (1977). A theory of education, Ithaca, NY: Cornell University.



Lorenzo Moreno Ruiz es licenciado en Física y Doctor en Física por la Universidad Complutense de Madrid en los años 1973 y 1977 respectivamente. Fue becario del CSIC durante 4 años y profesor encargado de curso en la Universidad Complutense de Madrid hasta 1977 y pasó como profesor Agregado a la Universidad del País Vasco en Lejona hasta el año 1979. Obtuvo la Titularidad en 1978 tomando posesión de dicha plaza en la Universidad Autónoma de Barcelona. Desde 1989 es Catedrático en la Universidad de La Laguna. Ha dirigido 10 Tesis doctorales y es autor de 75 trabajos en revistas internacionales. En esta última Universidad ha sido Director de Departamento, Director de la ETSI informática y en la actualidad es Vicerrector de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación.



Evelio Gonzalez es licenciado en Física por la Universidad de La Laguna (1998) y doctor en Informática por la misma Universidad en 2004. Actualmente es profesor Contratado Doctor en la Universidad de La Laguna, desarrollando su labor investigadora en los campos de Inteligencia Artificial, Control Digital, Arquitectura de Computadores, Agentes Inteligentes. Es coordinador del programa de doctorado "Física e Informática".



Claudia L.O. Oliveira recibió su Doctorado en Ciencias de Educación en 1997 por la Universidad de Salamanca. Desde 1982 trabaja como profesora en la Universidade Luterana do Brasil (ULBRA) em Canoas, dentro del Curso de Matemática Licenciatura y em el Programa de Posgrado de Educación de Ciencias y Matemáticas. Actualmente es Directora de la Sociedade Brasileira de Educação Matemática do Rio Grande do Sur.



Beatrice Popescu nació en Targoviste, Romania. Recibió su Licenciatura en Informática en 2004 por la Universidad de Bucarest. Durante el periodo 2004-2005 trabajó como programador en GZK Software (Bucarest). Actualmente disfruta de una beca en la Universidad de La Laguna (España).



Carina González González. Doctora en Informática, es profesora en la Universidad de La Laguna en la Escuela Superior de Ingeniería Informática y la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universidad de La Laguna (ULL). Ha desarrollado su actividad investigadora en la aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial (IA) e interfaces accesibles e inteligentes en la Educación dentro del Grupo de Computadoras y Control de la ULL, así como en el Center of Learning and Knowledge Technologies (CeLeKT) de la Universidad de Växjö (Suecia), en el Human-Computer Interaction Institute de la Carnegie Mellon University (Estados Unidos) y en el Internet Interdisciplinary Institute (IN3) de la UOC (Barcelona)