

Gradient, UC3M

Carlos Delgado Kloos, Abelardo Pardo, Mario Muñoz-Organero, M^a Blanca Ibáñez, Pedro J. Muñoz-Merino, Carmen Fernández-Panadero, Raquel M. Crespo, José J. García Rueda, Luis de la Fuente, Mar Pérez-Sanagustín, Hugo A. Parada G., Derick Leony, Israel Gutiérrez, David Maroto

Dep. Ingeniería Telemática, Universidad Carlos III de Madrid
Av. Universidad, 30, 28911 Leganés, Madrid, España
{cdk, abel, munozm, mbibanez, pedmume, mcfp, rcrespo, rueda, lfuelle, mmpsanag, hparada, dleony, igrojas, dmaroto}@it.uc3m.es

Resumen: En este artículo se presenta un resumen de las líneas de investigación que se realizan en el Laboratorio Gradient perteneciente al Grupo GAST (Grupo de Aplicaciones y Servicios Telemáticos) del Departamento de Ingeniería Telemática de la Universidad Carlos III de Madrid. La temática principal de investigación es la aplicación de tecnologías para la mejora de la enseñanza y el aprendizaje. El resumen se centra en tres líneas: Personalización del aprendizaje, uso de dispositivos móviles con fines educativos y aplicaciones de Realidad Virtual y Realidad Aumentada en educación.

Palabras clave: e-learning, learning analytics, personalización, m-learning, realidad virtual, aprendizaje aumentado

Abstract: In this paper, we present a summary of the research lines of the Gradient Lab, which is part of the GAST group (Telematic Applications and Services Group) of the Department of Telematic Engineering at the Universidad Carlos III de Madrid. The main research topic is the use of technologies to enhance teaching and learning. This summary is organized around three research lines: Personalization of learning, use of mobile devices for educational purposes, and application of Virtual Reality and Augmented Reality in education.

Key words: e-learning, learning analytics, personalization, m-learning, virtual reality, augmented learning

1. Presentación

El principio del interés del Área de Ingeniería Telemática de la Universidad Carlos III de Madrid por el apoyo tecnológico a la educación se remonta a la memoria de cátedra del primer autor en el año 1996, en la que presentó un sistema web de apoyo a la docencia. El primer proyecto subvencionado sobre estos temas fue SEBASTIÁN [SEBASTIÁN] data del año 1997. Siguiéron varios proyectos del Plan Nacional sobre esta temática (SIEMPRE [SIEMPRE], mosaicLEARNING [MOSAIC], Learn3 [Learn3] y EEE [EEE]), otros proyectos nacionales (Flexo [Flexo], España Virtual [España Virtual]) o internacionales (GENIUS [GENIUS], E-LANE [E-LANE], SOLITE [SOLITE], iCoper [iCoper]). También hay que mencionar la Cátedra Nokia en la

que se desarrollaron aplicaciones móviles, algunas de ellas educativas, y el proyecto eMadrid [eMadrid], financiado por la Comunidad de Madrid y coordinado por la UC3M, que aglutina investigaciones sobre tecnología educativa en la Comunidad de Madrid.

El Departamento de Ingeniería Telemática se creó como tal el año 2001 desgajándose sucesivamente del Departamento de Ingeniería y del de Tecnologías de las Comunicaciones. El grupo de investigación GAST (Grupo de Aplicaciones y Servicios Telemáticos) se creó oficialmente en el año 2005 y se estructuró dando lugar a varios laboratorios interrelacionados, en la actualidad cuatro en concreto: WebTLab sobre tecnologías web, Computación Ubicua, DREQUIEM

de sistemas de tiempo real y Gradient, sobre tecnología educativa.

Son muchos los temas en los que estamos trabajando en el ámbito del soporte tecnológico a la educación en Gradient, temas que además van evolucionando continuamente. En este artículo vamos a centrarnos en tres aspectos, que están relacionados entre sí:

- Personalización del aprendizaje con especial atención a la analítica del aprendizaje.
- Uso de dispositivos móviles con fines educativos.
- Aplicación de Realidad Virtual y Realidad Aumentada en educación.

2. Personalización del aprendizaje

Uno de los aspectos que el uso de la tecnología ofrece en entornos educativos es el de la personalización. En su acepción más genérica en el ámbito de la tecnología, la personalización consiste en utilizar ésta para acomodar las diferencias entre los usuarios de una aplicación. Al principio este término se utilizó para referirse a la adaptación del contenido en la Web, pero los avances en los últimos años han hecho que sea ya aplicable a un gran número de escenarios en los que se usa la tecnología. Uno de estos escenarios es el de la educación. Las TIC ofrecen una capacidad de adaptación sin precedentes hasta el momento, que a su vez se une a la necesidad de prestar atención a la diversidad inherente a todo escenario educativo.

El ámbito del uso de la tecnología para personalizar la experiencia educativa no es nuevo. El área de los sistemas de tutoría inteligentes (STI) tiene una trayectoria de más de 20 años dedicados al estudio de cómo las técnicas de inteligencia artificial pueden ser utilizadas para observar las acciones de un estudiante mientras trabaja y ofrecer realimentación, pistas, o cualquier tipo de soporte a lo largo de la experiencia [Wenger 87].

Los sistemas de tutoría inteligente tienen una estructura que se compone de cuatro bloques principales [Wenger 87]:

1. Módulo experto. Contiene los objetos de aprendizaje de un dominio concreto así como una representación de su conocimiento.
2. Módulo pedagógico. Incluye los modelos de las diferentes estrategias de aprendizaje.

3. Modelo del estudiante. Colección de características y observaciones del alumno.
4. Módulo de interfaz. Es el que contiene el interfaz gráfico y en algunos casos dispositivos físicos adicionales tales como un joy-stick.

La personalización que ofrecen estos sistemas hace que dos alumnos distintos tengan experiencias educativas diferentes en un mismo entorno. En principio, estas adaptaciones persiguen el objetivo de mejorar alguno de los parámetros que se hayan escogido a priori como medida de éxito de la aplicación. Existen estudios que analizan la correlación entre el comportamiento de los alumnos en estos sistemas y el aprendizaje [Aleven et al. 06], mejoras de los modelos de estudiante utilizados [Baker et al. 08], mejoras en la colaboración entre estudiantes [Gal et al. 08], o incluso aspectos afectivos [Lehman et al. 10].

Una variante de estos sistemas de tutoría conforman lo que se denomina el “hipermedia educativo adaptativo” (HEA). Este tipo de aplicaciones son similares a los STI con la diferencia de que son aplicaciones que residen en la Web y que los usuarios acceden mediante un navegador. Brusilovsky [1996] define HEA como aquellos sistemas hipermedia que capturan datos del usuario y los incorporan a un modelo para adaptar múltiples aspectos visibles del sistema de soporte a la educación. La principal restricción de estos sistemas es que suelen tener un ámbito de aplicación extremadamente especializado. Además, el uso de estos sistemas todavía no se ha podido demostrar que tengan un efecto significativo en la mejora del aprendizaje, principalmente por el debate existente sobre cómo medir estas mejoras [Gabriel, Richtel 11].

El laboratorio Gradient ha desarrollado varias iniciativas en el ámbito de la personalización de entornos educativos. Más concretamente, en el uso de técnicas de pistas para el soporte del aprendizaje, se ha propuesto e implementado una arquitectura que permite la personalización combinando técnicas de Web Semántica con un tutor inteligente que proporciona diferentes tipos de pistas a los alumnos durante la resolución de ejercicios [Muñoz-Merino, Delgado Kloos 08]. Experimentos realizados confirman que el módulo de pistas aún sin utilizar la personalización tiene una eficacia similar a

profesores proporcionando pistas en clase [Muñoz-Merino et al. 11a] y otros experimentos sugieren la mejora de resultados en el aprendizaje con la inclusión de personalizaciones de diferentes técnicas de pistas [Muñoz-Merino et al. 11b].

Recientemente, con los avances en el ámbito denominado “grandes datos”, han aparecido técnicas que permiten la observación y adaptación de un entorno educativo teniendo en cuenta diferentes fuentes muy heterogéneas. La combinación del uso cada vez más ubicuo de las TIC y la posibilidad de recopilar y manipular grandes cantidades de datos ha llevado a la aplicación de técnicas de minería de datos aplicadas a la educación. La “analítica académica” (AA), “minería de datos educativa” (MDE), o “analítica del aprendizaje” (AdA) son tres ámbitos en los que las técnicas de minería de datos se aplican a entornos de aprendizaje. La AA consiste en el uso de las herramientas de inteligencia de negocio y marketing en el ámbito de una experiencia de aprendizaje [Goldstein, Katz 05]. El objetivo último de estas técnicas es ir más allá de informar de los eventos observados e inferir sugerencias para mejorar la toma de decisiones a nivel de institución. Las primeras iniciativas se han centrado en la detección de estudiantes con riesgo de abandono [Arnold 10].

La MDE es un campo que persigue un objetivo similar. Propone el uso de técnicas de análisis, aprendizaje máquina y minería de datos para entender mejor el entorno en el que se desarrolla una experiencia [Baker, Yacef 09]. Existen múltiples iniciativas de investigación que muestran el uso de estas técnicas así como estudios que miden su impacto [Romero, Ventura 10].

Más recientemente, ha aparecido el término “analítica del aprendizaje” (AdA). Este término se refiere a un conjunto de técnicas que tienen como objetivo llevar el proceso de observación, análisis, predicción y actuación a un nivel de granularidad más bajo (el de una actividad) y con el personal docente y los propios estudiantes como público objetivo [Siemens 11].

Las técnicas analíticas están basadas en cinco pasos [Campbell et al. 07]:

1. Recolección de observaciones sobre los eventos que ocurren en un entorno educativo.

2. Información ofrecida a profesores, tutores, estudiantes o instituciones.
3. Predicciones sobre lo que puede acontecer en el entorno. Pueden ser automáticas, o contar con la intervención de un experto.
4. Las predicciones provocan una alteración del entorno educativo mediante “actuaciones”.
5. Refinamiento de los pasos anteriores para mejorar el proceso global.

En Gradient se están llevando a cabo proyectos de investigación en este ámbito. La recolección de eventos es un ámbito en el que se han extendido los límites de enfoques actuales para observar eventos más allá de los sistemas de gestión del aprendizaje. Mediante el uso de máquinas virtuales, los estudiantes trabajan en un entorno previamente configurado en el que encuentran todas las herramientas necesarias para un curso. Este entorno ejecuta como un ordenador contenido en el ordenador personal del alumno. Con este compromiso se ofrece una solución sencilla para acceder y trabajar en actividades de un curso, y a cambio, se obtienen observaciones detalladas del proceso [Pardo et al. 11]. Las observaciones en este entorno ofrecen una visión pormenorizada de las actividades en un curso y es especialmente efectiva en entornos con predominio del trabajo práctico [Romero et al. 12].

Además de la fase de obtención de observaciones, Gradient también está trabajando en proyectos para la visualización y creación de informes para tutores, estudiantes, profesores e instituciones. La visualización de los datos recopilados requiere el uso de herramientas intuitivas que escondan la complejidad del proceso. Iniciativas tales como SAM [Govaerts et al. 2012] o LearningGlass [Leony et al. 2012] son dos ejemplos de herramientas en las que el grupo Gradient está trabajando y que enfatizan la fase de información a los usuarios. La Figura 1 muestra un ejemplo de cómo se visualizan los datos recopilados durante un curso con estudiantes reales mediante la herramienta LearningGlass.

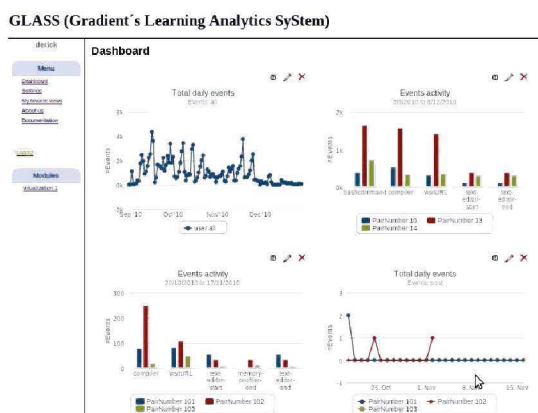


Figura 1. Visualización de datos capturados

En la fase de predicción, las técnicas utilizadas incluyen reglas de inferencia, métodos estadísticos, modelos lineales, etc. Con estas técnicas se suele obtener la predicción de un aspecto elegido a priori, y que a su vez sugiere o automáticamente despliega una acción sobre el entorno.

En estas dos últimas fases la variedad de técnicas y posibles ajustes en el entorno educativo conforman un espacio muy fértil para la aparición de soluciones que produzcan mejoras significativas en la calidad de la experiencia educativa.

3. Dispositivos móviles para el aprendizaje

El aprendizaje móvil surgió como extensión espacio-temporal del aprendizaje mejorado tecnológicamente, permitiendo aprender en cualquier momento y en cualquier lugar. Ha ido evolucionando conceptualmente hacia el aprendizaje ubicuo, añadiendo contenidos y actividades educativas al entorno físico del estudiante. La computación ubicua, que utiliza elementos electrónicos empotrados en los objetos que nos rodean para crear un tejido computacional que tiende a ser “invisible” al servicio de la vida cotidiana de los usuarios [Sakamura 05] pasa a estar también al servicio de su aprendizaje. Las capacidades de computación y conectividad empotradas en elementos inteligentes que rodean el proceso formal o informal de aprendizaje del usuario, ayudan a aumentar y mejorar las limitaciones sensoriales y de memoria del mismo, facilitando datos, consejos y recomendaciones que aumentan el proceso cognitivo. Así por ejemplo, un sistema inteligente ejecutándose sobre el dispositivo móvil personal del usuario podría aprender del mismo, sensor el entorno y ofrecer recomendaciones adaptadas ante determinadas cir-

cunstancias. En cierta manera podríamos decir que la lógica de adaptación del proceso de aprendizaje al usuario se va alejando de la plataforma que alberga los contenidos y se va acercando a la electrónica de consumo del usuario. De hecho, el concepto de centralización de contenidos pasa a difundirse en agregación de múltiples fuentes [Guo et al. 10], algunas de ellas disponibles a través de Internet, otras solamente disponibles a través del entorno local del usuario. La interacción entre el usuario y el entorno educativo involucra numerosos componentes implícitos que no requieren las acciones explícitas del usuario [Aljohani et al. 11]. Todo ello creando un entorno colaborativo en el que la tecnología simplifica las comunicaciones interpersonales y permite la definición de entornos educativos motivadores (integrando por ejemplo elementos de gamificación a los mismos [Laine et al. 11]).

En Gradient, dentro de la línea de aprendizaje móvil y ubicuo, mantenemos en la actualidad las siguientes sub-líneas de investigación abiertas:

- Imbricación de servicios educativos en el entorno y acceso a los mismos desde dispositivos móviles
- Sistemas inteligentes de recomendación que integren los datos sensados por el dispositivo móvil del usuario con las necesidades del mismo, ofreciendo consejos didácticos adaptados al contexto
- Herramientas colaborativas que faciliten la comunicación profesor-alumno y entre iguales a través de dispositivos móviles.

3.1. Imbricación de servicios educativos en el entorno

Imbricar servicios educativos en el entorno requiere del despliegue de contenidos y lógica de interacción con los mismos en objetos físicos y a la vez la definición de mecanismos de interacción con el usuario a través de dispositivos móviles.

Existen diferentes tecnologías accesibles desde un terminal de usuario móvil que se pueden utilizar para enriquecer el entorno. Vamos a destacar aquí algunas de las que nos parecen más relevantes:

- Códigos QR (Quick Response)
- Tecnología basada en NFC (Near Field Communications)
- NFC en combinación con Bluetooth

- Realidad aumentada

En el grupo Gradient hemos desarrollado diferentes servicios en esta línea permitiendo la compartición de contenidos entre usuarios tocando por NFC elementos del entorno, control de paneles de proyección, impresión de documentos al tocar la impresora seleccionada desde el móvil, acceso a cuestionarios de evaluación asociados a actividades de aprendizaje en laboratorios, o herramientas de comunicación mediante mensajes de texto entre usuarios y espacios físicos (por ejemplo, dejar notas a un profesor cuando vamos a su despacho y no lo encontramos). A modo de ejemplo la Figura 2 muestra una impresora y su acceso desde el móvil del usuario. La Figura 3 muestra un panel en papel mejorado electrónicamente para obtener recursos multimedia al tocar con el móvil.



Figura 2. Impresora accesible por NFC



Figura 3. Panel mejorado electrónicamente por NFC

3.2. Sistemas inteligentes de recomendación móviles

Utilizando técnicas de inteligencia artificial y combinando los datos del perfil del usuario con la información captada por los diferentes sensores del dispositivo móvil de usuario (GPS, acelerómetro, cámara...) así como el procesamiento de información obtenida de fuentes relevantes de internet (agendas de grupo, redes sociales, foros...), el grupo Gradient está desarrollando recomendadores que permitan mejorar el aprendizaje del usuario de forma cómoda para el mismo. Sistemas que permiten ofrecer actividades educativas o simplemente emiten consejos didácticos.

En esta línea por ejemplo se está trabajando en el desarrollo de un sistema para aprender a conducir ahorrando combustible que, enriquecido con los datos obtenidos del puerto OBD2 del vehículo, permite al usuario conocer consejos para mejorar su consumo y mantener una conducción segura. La Figura 4 muestra la arquitectura del sistema.

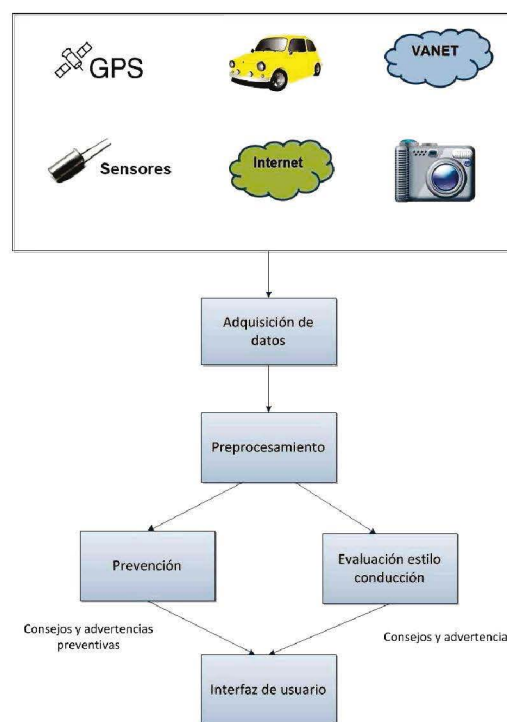


Figura 4. Arquitectura de sistema recomendación del aprendizaje de técnicas de conducción eco-eficiente

3.3. Herramientas colaborativas móviles

Dentro de las herramientas colaborativas móviles, dentro del laboratorio de investigación Gradient, se ha realizado un esfuerzo en la creación de escenarios proactivos que capturen información de uso de los usuarios y permitan la recepción de información generada por el profesor u otros usuarios automáticamente. Se ha desarrollado por ejemplo una aplicación que permite al profesor la generación de píldoras educativas como refuerzo a determinados conceptos y el envío automático mediante mensajes a los alumnos que las requieran. También se está trabajando en difundir algunos datos capturados por los dispositivos móviles de los usuarios en su interacción con el entorno a plataformas de aprendizaje para la construcción de diagramas que mejoren la consciencia del aprendizaje de cada individuo en relación con lo que sus compañeros

están realizando.

4. Aplicación de Realidad Virtual y Realidad Aumentada en educación

Las teorías pedagógicas actuales enfatizan la necesidad de que el estudiante deje de ser un mero receptor de información para convertirse en un ente activo generador de conocimientos. Señalan además, que este proceso de construcción de conocimiento debe producirse en situaciones contextualizadas, con el soporte pedagógico adecuado y de forma colaborativa [Jonassen 94].

Dos tecnologías emergentes, realidad virtual y realidad aumentada, han generado grandes expectativas en el campo educativo por sus capacidades inmersivas, de interacción y de motivación. Facilitan la contextualización de la información y fomentan aspectos sociales del aprendizaje [Dalgarno et al. 10, Dickey 05].

En Gradient exploramos las posibilidades educativas de estas tecnologías, los beneficios que aportan y las integramos a tecnologías educativas para la orquestación de actividades de aprendizaje y la evaluación de los estudiantes.

4.1 Realidad Virtual

Los mundos virtuales tridimensionales pueden ser utilizados para modelar entornos de aprendizaje con alto grado de fidelidad, donde los estudiantes pueden explorar, manipular y modificar el entorno a través de sus avatares de forma colaborativa. En este sentido, se han desarrollado varios proyectos en Gradient.

- a) Para el proyecto España Virtual [España Virtual] se diseñó un entorno de aprendizaje para la enseñanza del español como segunda lengua. El entorno fue desplegado como un mundo espejo de la Gran Vía madrileña en donde cada tramo de la avenida fue utilizada para lograr objetivos de aprendizaje diferentes: comprensión y comunicación tanto oral como escrita.

En este entorno educativo se aprovecharon las facilidades de interacción social de los espacios virtuales para fomentar la comunicación oral entre estudiantes. Los personajes sintéticos mantenían diálogos entre sí acerca de los espectáculos de teatro que se estaban presentando en la Gran Vía de Madrid. Cada estudiante

escuchaba conversaciones diferentes y su objetivo consistía en comprar una entrada para ver una obra de teatro. El sistema solo vendía la entrada previa demostración de tener un conocimiento mínimo de la obra. Por lo tanto los estudiantes necesitaban preguntar a sus compañeros detalles de las obras que desconocían.

La orquestación de las actividades de aprendizaje fue posible gracias a la integración de un motor de ejecución para IMS LD [IMS LD] a la plataforma virtual.



Figura 5. Participantes colaborando para obtener información en el mundo espejo de la Gran Vía

- b) Para el proyecto Learn3 se diseñó un entorno virtual que recreaba el ambiente, la época y los personajes de la novela de ficción “La invención de Morel” de A. Bioy Casares. Se utilizó este entorno con el fin de evaluar el conocimiento que los participantes tenían de la novela.

La evaluación de conocimiento se llevó a cabo mediante preguntas de selección múltiple que hacían uso de las posibilidades de interacción y la riqueza de información multimodal que puede utilizarse en estos entornos. Así los enunciados podían ser dados por los personajes sintéticos que representaban a personajes de la novela. La lista de opciones asociada a una pregunta podía implicar la elección de un objeto 3D, desplazarse a cierto lugar donde determinado evento ocurrió, modificar el entorno desplazando objetos entre otras. La retroalimentación podía consistir en la aparición de nuevos objetos en el entorno con información extra (un vídeo, por ejemplo) o una recompensa que hiciera alusión a eventos relevantes de la novela.

Un motor de ejecución de IMS QTI [IMS QTI] fue integrado a la plataforma virtual para orquestar los tests. En la actualidad se trabaja

sobre una herramienta de autoría que permita a los profesores generar preguntas de test de elección múltiple que sean automáticamente desplegadas dentro de un mundo virtual.

- c) En el marco del proyecto Learn3 se ha trabajado en el desarrollo de arquitecturas software para facilitar la creación de simuladores de aprendizaje que permitan recrear entornos reales.

Para ello se han creado dos motores de simulación: uno basado en Flash (Simuflow) en colaboración con la empresa Simumak [Simumak], y otro basado en Unity-3D (3D-SimGenerator), que permite separar el flujo de simulación que controla la secuencia de escenas del contenido educativo de cada una de ellas permitiendo al usuario controlar ambas desde ficheros de texto. En ambos casos el flujo de simulación y los elementos GUI que deben aparecer en pantalla son controlados desde ficheros de texto utilizando SCXML (StateChart XML). Las actividades educativas son controladas utilizando ficheros de texto en el primer caso e IMS-QTI en el segundo.

En tiempo de ejecución, todas las decisiones tomadas por el usuario quedan registradas en el sistema tanto con fines de evaluación como para poder cambiar el contenido del flujo de simulación dependiendo de las acciones del usuario.

La arquitectura desarrollada permite al usuario crear nuevas experiencias modificando únicamente el flujo de escenas o el contenido de cada una de ellas desde ficheros de texto lo que permite reducir considerablemente el tiempo de desarrollo. Actualmente se está trabajando en una herramienta de autoría (SIMUFLOW-MAKER) que permitiría una edición mucho más amigable de los ficheros de texto que contienen el flujo de simulación y el contenido de cada uno de los escenarios.

4.2 Realidad Aumentada

El término realidad aumentada se refiere a la tecnología que mejora la percepción sensorial del mundo real superponiéndole información digital [Azuma 97]. La realidad virtual y la realidad aumentada están relacionadas, reflejan diferentes niveles de inmersión en entornos donde coexisten objetos físicos y digitales.



Figura 6. 3D-SimGenerator

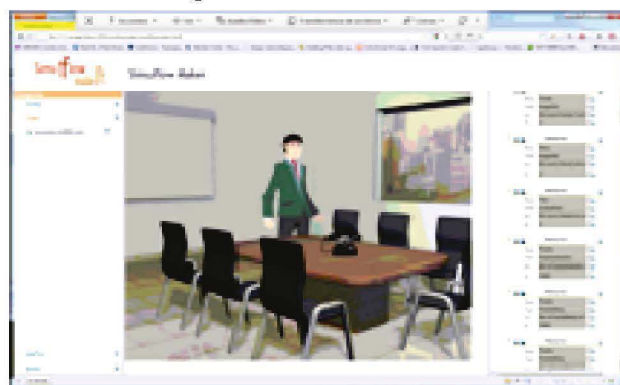


Figura 7. SimuflowMaker

En Gradient se está explorando la Realidad Aumentada para su utilización en el aprendizaje y se cuenta con algunas experiencias iniciales utilizando PCs y teléfonos móviles que se describen a continuación.

- a) Para el proyecto EEE se evaluó el impacto de un sistema de realidad aumentada sobre la motivación de estudiantes de 1º de la E.S.O. en un curso de arte visual.

Se trató de una aplicación “*markerless*” en la que diferentes tipos de contenidos (texto, audio, vídeo) aparecían cuando el estudiante pulsaba zonas en fotografías de obras de arte del renacimiento italiano. Se comprobó que la motivación de los estudiantes mejoró considerablemente al usar esta tecnología en comparación con su motivación hacia el curso dictado con los métodos tradicionales.

En la actualidad se está trabajando en desarrollar una herramienta de autoría que permita a los profesores desarrollar actividades educativas utilizando los mismos elementos tecnológicos.

- b) Para los proyectos Learn3 y EEE se analizaron los efectos de introducir realidad aumentada en proyectos educativos que combinaban fases de aprendizaje formal e informal en diferentes espacios. Se realizó una experiencia en un curso de educación infantil con niños de 5 años (ver figura 8). El proyecto original “Nuestro museo” consistía en una primera fase de investigación en casa, en la que los niños recopilaban información sobre pintores y cuadros famosos con sus padres. Una segunda fase de trabajo en el aula en el que ponían en común lo que habían aprendido y trabajaban haciendo reproducciones de los cuadros con diferentes técnicas de expresión plástica y una última fase en los pasillos del colegio en la que se exponían los cuadros originales junto con las reproducciones de los alumnos.

La experiencia se aumentó añadiendo a la exposición marcadores RFID que aumentaban cada cuadro con vídeos realizados por los alumnos contando detalles de la vida del pintor, de su obra o de las técnicas utilizadas para realizar las reproducciones.

La experiencia demostró tener efecto en las tres fases tanto en la motivación, como en el aprendizaje e incluso el número de visitas a la exposición. Los factores clave para la mejora de la experiencia de aprendizaje fueron la participación de los alumnos en la elaboración del material previo, la personalización de contenidos en la visita y la introducción de los móviles en la experiencia.

- c) A demanda de los visitantes de la exposición se está estudiando incluir una fase final en la que se proporcione a alumnos, profesores y visitantes un producto tangible que incluya realimentación y material multimedia recopilado durante la visita.

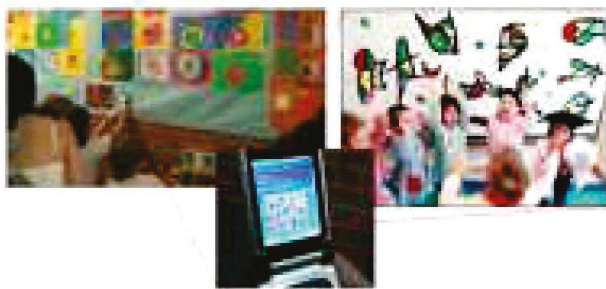


Figura 8. Experiencia en educación infantil

4.3 Integración de la Realidad Física y la Digital

La realidad virtual y la realidad aumentada no tienen por qué funcionar de forma aislada, pueden combinarse de diferentes formas: migrando objetos 3D entre los espacios; migrando participantes entre espacios; compartiendo objetos 3D o también compartiendo espacios (mundos espejo).

La integración del mundo real y el virtual fue realizada como etapa final en el proyecto de España Virtual mencionado en la subsección 4.1. Siendo el mundo virtual por construcción un mundo espejo, se integraron clientes móviles al mundo virtual para lograr el intercambio de información multimodal entre ambos mundos. Así fue posible migrar de un mundo a otro, información geolocalizada: vídeo, imágenes, texto. Dentro del mundo virtual avatares representaban a los usuarios que se conectaban desde el mundo real y realizaban el mismo recorrido (virtualidad aumentada). Por otra parte, en la pantalla del teléfono móvil, los avatares del mundo virtual se superponían al entorno real (realidad aumentada). De esta forma se creó un entorno de aprendizaje que integró el mundo real con su espejo fomentando una mayor colaboración entre los participantes de la experiencia.

5. Conclusión

Hay muchos otros temas en los que se está investigando o que son de interés y que no se han mencionado aquí por falta de espacio. Algunos de ellos son: libros de texto electrónicos, gamificación, e-portfolios, autoría ágil de material educativo, massive open online courses (MOOCs), etc.

Globalmente, podemos decir que al investigar sobre temas educativos, se combinan las dos principales facetas que tenemos como profesores universitarios: la docencia y la investigación. De esta forma, podemos mejorar nuestra docencia con resultados de nuestra investigación y viceversa, obtenemos inspiración para la investigación desde las necesidades docentes: un círculo virtuoso muy gratificante.

Agradecimientos

La financiación reciente para estas investigaciones ha provenido de varios proyectos. A nivel regional en la Comunidad de Madrid, hay que mencionar el proyecto eMadrid [eMadrid], a nivel nacional los proyectos Learn3 [Learn3], EEE [EEE], Flexo

[Flexo] y España Virtual [España Virtual] y a nivel internacional SOLITE [SOLITE] y iCOPER [iCOPER].

Referencias

- [Aleven et al. 06] V. Aleven, B. McLaren, I. Roll, K. Koedinger: "Toward Meta-cognitive Tutoring: A Model of Help Seeking with a Cognitive Tutor", *Internat. J. Artificial Intelligence in Education*, 16(2), 101–128, 2006
- [Aljohani et al. 11] N.R. Aljohani, H. Davis, T. Tiropanis: "HCI as a Differentiator between Mobile and Ubiquitous Learning," *NGMAST: Internat. Conf. Next Generation Mobile Applications, Services & Technologies*, 82–86, 14–16 Sep 2011
- [Arnold 10] K. Arnold: "Signals: Applying Academic Analytics", *Educause Quarterly*, 33(1), 10, 2010
- [Azuma 97] R.T. Azuma: "A Survey of Augmented Reality", In: "Presence: Teleoperators and Virtual Environments", Vol. 6, 355–385, 1997
- [Baker et al. 08] R. Baker, A. Corbett, V. Aleven: "More Accurate Student Modeling Through Contextual Estimation of Slip and Guess Probabilities in Bayesian Knowledge Tracing", *Proc. Intelligent Tutoring Systems Conf.*, 406–415, 2008
- [Baker, Yacef 09] R. Baker, K. Yacef: "The state of educational data mining in 2009: A review and future visions". *Journal of Educational Data Mining*, 1 (1), 3–17, 2009
- [Brusilovsky 96] P. Brusilovsky: "Methods and Techniques of adaptive hypermedia". *User modelling and User-Adopted Interaction*, 6 (2–3), 87–129, 1996
- [Campbell et al. 07] J. Campbell, P. DeBlois, D. Oblinger: "Academic Analytics: A New Tool for a New Era", *Educause Review* 42(4), 40–57, 2007
- [Chien et al. 10] C.-H. Chien, C.-H. Chen, T.-S. Jeng: "An Interactive Augmented Reality System for Learning Anatomy Structure". *Proc. IMECS 2010: Internat. Multiconf. Engineers & Computer Scientists*, Vol I, IAENG, Hong-Kong, 17–19 Mar 2010
- [Dalgarno et al. 10] B. Dalgarno, M.J.W. Lee: "What are the learning affordances of 3-D virtual environments?", *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 10–32, 2010
- [Dickey 05] M.D. Dickey: "Brave new (interactive) worlds: A review of the design affordances and constraints of two 3D virtual worlds as interactive learning environments". *Interactive Learning Environments*, 13(1), 121–137, Routledge 2005
- [EEE] Proyecto "EEE: Orquestando Espacios Educativos Especulares". Ministerio de Economía y Competitividad, TIN2011-28308-C03-01, 2012–2014
- [eMadrid] Proyecto "eMadrid: Investigación y Desarrollo de Tecnologías para el e-Learning en la Comunidad de Madrid". Comunidad de Madrid S2009/TIC-1650, 2010-2013. emadridnet.org
- [E-LANE] Proyecto "E-LANE: European-Latin American New Education", Programa @LIS Comisión Europea, coordinador UC3M, 2003–2007
- [España Virtual] Proyecto "España Virtual". CENIT en el marco del programa Ingenio 2010, subcontratado por DeimosSpace
- [Flexo] Proyecto "Flexo: Desarrollo de Aprendizaje Adaptativo y Accesible en Sistemas de Código Abierto", Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, TSI-020301-2008-19
- [Gal et al. 08] Y. Gal, E. Yamangil, S.M. Shieber, A. Rubin, B.J. Grosz: "Towards Collaborative Intelligent Tutors: Automated Recognition of Users' Strategies". *Intelligent Tutoring Systems, LNCS Vol. 5091*, Springer, 162–172, 2008
- [Gabriel, Richtel 11] T. Gabriel, M. Richtel: "Inflating the software report card", *New York Times*, 8 Oct 2011
- [GENIUS] Proyecto "GENIUS: Generic E-Learning Environments and Paradigms for the New Pan European Information and Communication Technologies Curricula", Unión Europea, 2002–2003
- [Goldstein, Katz 05] P. Goldstein, R. Katz: "Academic analytics: the uses of management information and technology in higher education". *Tech. Rep. Dec 2005*, Educause Center for Applied Research
- [Govaerts et al. 12] S. Govaerts, K. Verbert, E. Duval, A. Pardo: "The Student Activity Meter for Awareness and Self-reflection", *ACM SIGCHI*

- Conf. Human Factors in Computing Systems (CHI 2012), May 2012, Austin, TX, USA
- [Guo et al. 10] Y. Guo, J. Rui, H. Zhou: "Pervasive and Personal Learning Environment Using Service-Oriented Architecture: A Framework Design," ICNDC: Internat. Conf. Networking & Distributed Computing, 153–155, 21-24 Oct 2010
- [iCOPER] Proyecto "iCOPER: Interoperable Content for Performance in a Competency-driven Society", Programa eContentplus, Best Practice Network, ECP-2007-EDU-417007
- [IMS LD] Learning Design Specification. <http://www.msglobal.org/learningdesign/>
- [IMS QTI] IMS Question & Test Interoperability Specification. <http://www.msglobal.org/question/>
- [Jonassen 94] D.H. Jonassen: "Technology as cognitive tools: learners as designers. ITForum Paper", vol. 1, 1–7, 1994
- [Laine et al. 11] T.H. Laine, M. Duveskog, E. Sutinen: "Bagamoyo Caravan: Pervasive learning game for a Tanzanian museum", IST-Africa Conf. Proc., 2011, 1–8, 11–13 May 2011
- [Learn3] Proyecto "Learn3: Hacia el Aprendizaje en la Tercera Fase". Ministerio de Ciencia e Innovación, TIN2008-05163/TSI, 2008-2011
- [Lehman et al. 10] B. Lehman, S. D'Mello, N. Person: "The Intricate Dance between Cognition and Emotion during Expert Tutoring", Proc. Intelligent Tutoring Sys. Conf., 156–164, 2010
- [Moodle] www.moodle.org
- [MOSAIC] Proyecto "mosaicLEARNING: Aprendizaje electrónico móvil, de código abierto, basado en estándares, seguro, contextual, personalizado y colaborativo", Ministerio de Educación y Ciencia, TSI2005-08225-C07, 2005–2008
- [Muñoz-Merino, Delgado Kloos 08] P.J. Muñoz Merino, C. Delgado Kloos, "An Architecture for Combining Semantic Web Techniques with Intelligent Tutoring Systems", Proc. Intelligent Tutoring Systems Conf., pp. 540-550, 2008
- [Muñoz-Merino et al. 11a] P.J. Muñoz-Merino, C. Delgado Kloos, M. Muñoz-Organero, "Enhancement of Student Learning Through the Use of a Hinting Computer e-Learning System and Comparison With Human Teachers", IEEE Transactions on Education, 54(1), 164–167, 2011
- [Muñoz-Merino et al. 11b] P.J. Muñoz-Merino, C. Delgado Kloos, M. Muñoz-Organero, "Deciding on Different Hinting Techniques in Assessments for Intelligent Tutoring Systems", International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 7(2), 841–858, 2011
- [Pardo, Delgado Kloos 11] A. Pardo, C. Delgado Kloos: "Stepping out of the box: Towards Analytics outside of the Learning Management System". 1st Internat. Conf. Learning Analytics and Knowledge, February 2011
- [Romero et al. 12] V.A. Romero Zaldívar, A. Pardo, D. Burgos, C. Delgado Kloos: "Monitoring Student Progress Using Virtual Appliances: A Case Study". Computers & Education, 58(4), 1050–1067
- [Sakamura 05] K. Sakamura, N. Koshizuka: "Ubiquitous computing technologies for ubiquitous learning," WMTE: IEEE Internat. Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education, 11–20, 28–30 Nov 2005
- [Siemens 11] G. Siemens: "Learning and Academic Analytics", www.learninganalytics.net/?p=131, 5 Aug 2011
- [Simumak] simumak.com/es/
- [SEBASTIÁN] Proyecto "SEBASTIÁN: Sistema Educativo Basado en Tecnología Internet", Comunidad de Madrid, 07T/0015/1997, 1997–1999
- [SIEMPRE] Proyecto "SIEMPRE: Seguimiento inteligente y extensible para el modelado de la práctica educativa", Ministerio, 2002–2005
- [SOLITE] Proyecto "SOLITE: Software libre en Teleformación", CYTED, 2008–2011
- [Wenger 87] E. Wenger: "Artificial Intelligence and Tutoring Systems: Computational Approaches to the Communication of Knowledge", Morgan-Kaufmann Publishing, Los Altos, CA., 1987