TICAI 2015

TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería

Editores

Manuel G. Gericota
Juan Manuel Santos Gago

TICAI 2015

TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería

Editado por:

Manuel G. Gericota
(Capítulo Português da Sociedade de Educação do IEEE)
Juan Manuel Santos Gago
(Capítulo Español de la Sociedad de Educación del IEEE)

I.S.B.N.: 978-84-8158-711-1

Tabla de Contenidos

Introduç«o dos Editores i

Introducción de los Editores ii

CAPÍTULO 1.....9
El Emergente Ciudadano Digital
Nuria Llobregat-Gómez y Luis M. Sánchez-Ruiz

CAPÍTULO 2.....15
Hacia el Laboratorio Virtual Definitivo
Carlos Rioja del Río, Arturo Morgado Estévez y Eduardo Romero Bruzón

CAPÍTULO 3.....23
Adoptando el Aprendizaje Basado en Problemas para Apoyar la Educación y las Vocaciones en la Ingeniería con la Plataforma de Juegos eCity
Melisa Rodríguez Bermúdez, Manuel Caeiro Rodríguez, Senior Member, IEEE SM, Martín Llamas Nistal, Senior Member, IEEE y Carlos Vaz de Carvalho, Member, IEEE

CAPÍTULO 4.....31
Usando un SPOC para Darle la Vuelta al Aula
Gonzalo Martínez-Muñoz y Estrella Pulido

CAPÍTULO 5.....37
Mutantes como Apoyo para la Valoración de Pruebas
Francisco Chicano y Francisco Durán

CAPÍTULO 6.....45
Aprendizaje Basado en la Creación, Uso y Evaluación de una Red Semántica de Recursos Docentes
Pedro Álvarez y Sandra Baldassarri, Senior Member, IEEE

CAPÍTULO 7.....53
Experimentando y Aprendiendo Física con Smartphones
Miguel Á. González, Juarez B. da Silva Member, IEEE, Óscar Martínez, Willian Rochadel y Manuel Á. González

CAPÍTULO 8.....59
A Iniciativa micromouse@utad.pt e o Estímulo ao Saber Tecnológico no Ensino Pré-universitário
Sérgio Silva, Salviano Soares, António Valente, Rolando Barradas y Paulo Bartolomeu

CAPÍTULO 9.....69
Análise Evolutiva dos Laboratórios Online
Raúl Cordeiro, José M. Fonseca y Gustavo R. Alves, IEEE Member

CAPÍTULO 10.....77
Diseño e Implementación de un Módulo de Analítica de Aprendizaje, y su Aplicación para la Evaluación de Experiencias Educativas

José A. Ruipérez-Valiente, Pedro J. Muñoz-Merino, Senior Member, IEEE y Carlos Delgado Kloos, Senior Member, IEEE

CAPÍTULO 11.....83

Sistema de Integración de Laboratorios Remotos de Robótica (SiLaRR): Laboratorio Remoto de Robótica, Escalable, Versátil y Modular

Germán Carro Fernández, Member, IEEE, Manuel Castro Gil, Fellow Member, IEEE y Francisco Mur Perez, Member, IEEE

Página en Blanco

Uma palavra dos editores

TICAI 2015 é o nono volume de uma série editada pelos Capítulos Espanhol e Português da Sociedade de Educação do IEEE, que teve início em 2006. Esta série tem dois objetivos centrais. Por um lado, pretende divulgar os melhores trabalhos de língua espanhola e portuguesa no domínio do ensino da engenharia nas áreas abrangidas pelo IEEE, apresentados nos mais reconhecidos fóruns internacionais, onde estes temas são discutidos. Por outro, procura dar a conhecer o que de melhor as novas gerações vão produzindo a nível do mestrado e do doutoramento no que diz respeito às tecnologias de apoio a esse ensino.

Este nono volume integra onze artigos. Nove artigos apresentados em 5 conferências internacionais, oito deles cobrindo os seguintes temas: os novos paradigmas de aprendizagem na era digital; a aprendizagem baseada em problemas apoiada em ambientes virtuais de ensino baseados em jogos sérios; a utilização de cursos em linha restritos para apoio a aulas presenciais; as ferramentas de apoio à avaliação; a pesquisa de recursos de aprendizagem na rede; e a aprendizagem experimental com base em dispositivos móveis e em laboratórios em linha. O nono consiste no relato de uma iniciativa de estímulo aos jovens para a escolha das engenharias.

O volume contempla ainda dois artigos da autoria dos dois premiados de 2015 do concurso promovido anualmente pelo Capítulo Espanhol da Sociedade de Educação do IEEE. O prémio de melhor projeto de fim de curso foi entregue a José Antonio Ruipérez-Valiente pelo seu trabalho "Diseño e Implementación de un Módulo de Analítica de Aprendizaje en la Plataforma Khan Academy". O prémio para a melhor tese de Doutoramento foi atribuído a Germán Carro Fernández pelo seu trabalho "Integration System of Remote Robotics Laboratories (SiLaRR)".

Agradecemos a todos os autores a colaboração na edição de mais um volume desta coleção. A cada leitor desejamos uma leitura profícua e inspiradora, que possa contribuir para que, conhecendo o que de mais recente se produziu na área da aplicação da tecnologia no ensino/aprendizagem da Engenharia neste espaço geográfico que são os países ibero-americanos, se sinta motivado não só a usar essa tecnologia, mas igualmente a desenvolver o seu próprio trabalho nesta área.

Os editores

Manuel Gericota (Capítulo Português da Sociedade de Educação do IEEE)
Juan Manuel Santos Gago (Capítulo Espanhol da Sociedade de Educação do IEEE)

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Unas palabras de los editores

TICAI 2015 es el noveno volumen de una serie, iniciada en el año 2006, editada por los Capítulos Español y Portugués de la Sociedad de la Educación del IEEE. Esta serie tiene dos objetivos centrales. Por un lado, persigue divulgar los mejores trabajos de lengua española y portuguesa en el ámbito de la enseñanza de la ingeniería, siempre encuadrados dentro de las áreas abarcadas por el IEEE. En particular, pretende difundir trabajos relevantes que han sido presentados en algunos de los más reconocidos foros de carácter internacional donde estos temas son tratados. Por otro lado, intenta dar a conocer lo mejor que las nuevas generaciones van produciendo, tanto a nivel de grado como de doctorado, en lo que respecta a tecnologías de soporte a la enseñanza.

Este noveno volumen está conformado por once capítulos. Nueve de ellos se corresponden con trabajos presentados en cinco conferencias internacionales, ocho de los cuales abordan las siguientes temáticas: los nuevos paradigmas de aprendizaje en la era digital; el aprendizaje basado en problemas soportado por entornos virtuales de enseñanza que se fundamentan en el uso de "juegos serios"; la utilización de cursos en línea orientados al apoyo de las clases presenciales; las herramientas de soporte a la evaluación; la investigación relativa a los recursos de aprendizaje en red; y el aprendizaje experimental basado en dispositivos móviles y laboratorios en línea. El noveno consiste en un relato de una iniciativa de estímulo a los jóvenes para la elección de las ingenierías.

El volumen incluye además dos trabajos cuya autoría corresponde a los dos premiados en el año 2015 en el concurso anual promovido por el Capítulo Español de la Sociedad de Educación del IEEE. El premio al mejor proyecto fin de carrera/grado fue otorgado a José Antonio Ruipérez-Valiente por su trabajo "Diseño e Implementación de un Módulo de Analítica de Aprendizaje en la Plataforma Khan Academy". Por su parte, el premio a la mejor tesis doctoral fue concedido a Germán Carro Fernández por su trabajo "Integration System of Remote Robotics Laboratories (SiLaRR)".

Agradecemos a todos los autores su inestimable colaboración en la edición del nuevo volumen de esta serie. A los lectores les deseamos una lectura fructífera e inspiradora, que contribuya a que, conociendo los avances más recientes que se han producido en el área de la aplicación de la tecnologías a la enseñanza/aprendizaje de la Ingeniería en este espacio geográfico que conforman los países iberoamericanos, se sienta motivado no sólo a utilizar estas tecnologías, sino también igualmente a desarrollar su propio trabajo en este área.

Los editores

Manuel Gericota (Capítulo Portugués de la Sociedad de la Educación del IEEE)
Juan Manuel Santos Gago (Capítulo Español de la Sociedad de la Educación del IEEE)

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Capítulo 1

El Emergente Ciudadano Digital

Nuria Llobregat-Gómez y Luis M. Sánchez-Ruiz

Title— **The Emerging Digital Citizen.**

Abstract— **Nowadays we cannot speak of a society without linking it to instant, global and, digital knowledge. Since 2001, Information Society Technology (IST) associated with a new type of citizens -the digital natives- provoked severe changes to which not only countries, regions, and society, but also individuals, are trying to adapt in a race still not finished. Policies focus on smart growth through the development of knowledge and innovation as a starting point to accomplish the process. The process of adaptation of any digital innovation to local and global challenges makes from resilience answer a must in a global society.**

The success of a resilience society comes from the hand of those individuals that form the society. If we live in a digital society growing in digital possibilities as the technology continues improving, those individuals will be evolved digital natives fully experienced and updated because they have grown up in a discovery-driven learning environment. For a resilient society it is crucial to get to know how its new individuals are learning new habits, abilities and capabilities and how they are using them, so that it will be feasible to help them to solve problems still not known with solutions not even imagined.

The present work tries to emphasize the University role when defining the new digital citizen that will be fully able to adapt himself to new challenges and quickly recover from old ones.

Index Terms— **Digital, Haptic, Learning, Student**

Abstract— **Hoy en día no podemos hablar de sociedad sin vincularla al conocimiento instantáneo, global y digital. Desde 2001 la Sociedad de la Información y las nuevas tecnologías asociadas con un nuevo tipo de ciudadano, el ciudadano nativo digital ha traído consigo severos cambios a los que no solo los países, las regiones y la sociedad, sino también los individuos, están intentando adaptarse en una carrera de fondo aún sin meta. El proceso de adaptación de cada innovación digital a los desafíos locales y globales hace de la *Resiliencia* un requisito indispensable en la sociedad global en la que estamos inmersos. Las recomendaciones de la CE se centran en el crecimiento inteligente a través del desarrollo del conocimiento y la innovación como punto de partida para culminar el proceso.**

Los individuos que forman parte de la sociedad resiliente son los que hacen posible el éxito de la misma. Si vivimos en una sociedad digital que crece en posibilidades digitales al mismo tiempo que la tecnología continúa innovándose, los individuos que la componen evolucionan al mismo ritmo porque han nacido en un entorno de aprendizaje basado en el descubrimiento. Para la sociedad resiliente es crucial saber cómo estos nuevos individuos digitales están adquiriendo y usando las nuevas herramientas tecnológicas que les aportarán hábitos, capacidades y habilidades digitales diferentes, de manera que sea posible en un futuro ayudarles a resolver nuevos problemas que requerirán soluciones aún desconocidas e inimaginables para la sociedad actual.

En este artículo enfatizamos el papel de la universidad al definir al nuevo ciudadano digital que estará completamente adaptado a los nuevos retos y sabrá recuperarse fácilmente de los antiguos retos.

Index Terms— **Aprendizaje, Estudiante, Táctil, Digital**

I. Introducción

SEGÚN el Dr. Andrew Mitchell [1] "Resilience is the ability of layers of society to absorb and recover from shocks, whilst positively adapting and transforming their structures and means for living in the face of long-term stresses, change and uncertainty. Resilience involves actively understanding the risk landscape in each context, determining where –in which layer of society– those risks are best owned and managed, and working to strengthening these components of resilience, and thereby empowering different layers of society with the ability to cope with those risks that they face in their everyday lives".

Cuando nos referimos a Resiliencia pensamos en catástrofes sociales y naturales tales como: devastadores desastres climatológicos, sostenibilidad, planes urbanísticos, enfermedades como la malaria o el ébola, la pobreza económica y social, etc. Pero con la irrupción de la Sociedad de la Información el proceso de gestión de riesgos se enfrenta a un nuevo tipo de riesgo: el entorno educativo.

Uno de los objetivos, y a su vez, elemento clave en cualquier paradigma educacional es el estudiante. Por tanto tras dejar constancia del ciudadano digital estudiaremos cómo será el futuro estudiante universitario de 2030 el cual estará completamente adaptado a los nuevos retos y será capaz de ayudar a la sociedad analizando las condiciones de la sociedad en las que crece: la generación háptica o digital táctil. Con su modo de pensar y resolver problemas esbozará las medidas a utilizar para cubrir las diferencias y superar los obstáculos a los que cualquier centro universitario tendrá que hacer frente antes o después. El futuro estudiante de 2030, al que denominaremos iScholar [2] es factor clave para la recuperación exitosa, inminente y rápida del cambio tecnológico, haciendo que la educación global tenga un papel primordial en la revolución digital.

Este trabajo fue presentado originalmente al World Engineering Education Forum 2015

Nuria Llobregat-Gómez, GRIM4E, DIRA, DLA, Universitat Politècnica de Valencia (Spain) (Teléfono: +34 96 3879945; fax: +34 96 387 7549; e-mail: nllobre@upv.es).

Luis M. Sánchez-Ruiz, GRIM4E/CITG, ETSID-DMA, Universitat Politècnica de Valencia (Spain) (e-mail: lmsr@upv.es).

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

II. Antecedentes y Elementos

A. Panorama Educativo

Desde 2001, el nuevo ciudadano digital unido al conocimiento digital, instantáneo y global; ha cambiado el significado de la palabra "Educación" en su sentido más amplio en cualquier contexto y lugar. El paradigma instruccional desaparece dejando su lugar al paradigma de aprendizaje. La educación ya no se define en términos de "instrucciones" para transferir conocimiento sino que se define en términos de "aprendizaje" enfocados a construir y crear nuevo conocimiento.

Este nuevo enfoque en la educación ofrece a los estudiantes y a los profesores nuevos roles en los nuevos programas de estudios. Dado que éstos están centrados en el estudiante principalmente, introducen nuevas competencias básicas fundamentales para el aprendizaje de larga duración [3] y habilidades básicas que empiezan a cambiar la dirección para poder afrontar las nuevas necesidades de la economía global.

Encuestas realizadas en los centros, junto con los resultados de PISA 2012 [4], evidencian la poca motivación y el bajo rendimiento en lectura, matemáticas o ciencias, entre otros, sumado a un prematuro abandono de las aulas en edad escolar [5]. Los docentes están preocupados por las razones de este bajo rendimiento y admiten la brecha, de momento insalvable, entre lo que aprenden dentro del aula y lo que aprenden fuera. Según el estudio: The Education and Training Monitor 2014, los sistemas educativos están preparando a jóvenes para un mundo que ya no existe y obviamente, ese es un riesgo que la sociedad no puede asumir.

Como Sociedad Resiliente, la comprensión activa del nuevo paradigma educativo ayudará a absorber y recuperarse del propio cambio, transformará las estructuras que forman parte de ella y solventarán cualquier dificultad que los ciudadanos de esa sociedad vivan a diario.

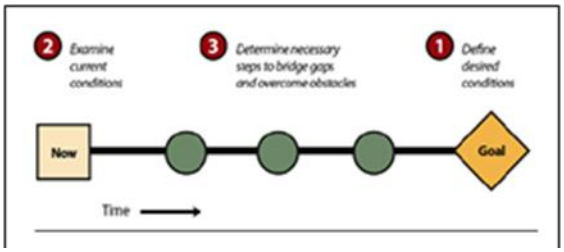


Fig. 1. Respuesta Resiliente ante riesgos [1]

La respuesta resiliente al cambio de paradigma educativo no se puede establecer desde las actuales condiciones y hábitos para confrontar riesgos. El cambio de paradigma tiene unos resultados a largo plazo y a su vez le afectan los continuos avances tecnológicos, que por sí mismo incumbe a cualquier aspecto social, a todos los niveles económicos, y a todos y cada uno de los ciudadanos de la sociedad global actual, ajena o no a la transformación tecnológica. Una respuesta resiliente debe definir las metas deseables en educación examinando las condiciones actuales y futuras que puedan surgir, y determinar los pasos necesarios para alcanzar y solventar los obstáculos que se vayan encontrando.

B. El Ciudadano Digital

En 2001 Mark Prensky define al "Nativo Digital" [6] como la primera generación que crece completamente rodeada de tecnología informática. Estos nativos digitales crecieron usando ordenadores personales para automatizar rutinas escolares y rutinas de la vida diaria tales como escribir textos, editar fotos de forma más eficiente y rápida, hacer cálculos rutinarios, comunicarse con otros de forma rápida y eficiente, etc.; todo ello sin necesitar unos conocimientos exhaustivos de informática.

Desde entonces, el acceso a internet, ordenadores más económicos, accesibles a todo tipo de usuarios por su simplicidad en el uso y la irrupción de *World Wide Web* y la página web, sumada a nuevas formas de comunicación a través del correo electrónico, chat y foros; han hecho de nuestras sociedades, una sociedad digital en tan solo una década. A partir de este momento ya no hay barreras ni fronteras para el aprendizaje, la enseñanza, el pensamiento o la adquisición de conocimiento.

Entre 2007 y 2010 la evolución de la computación en la nube, el incremento de servicios y productos relacionados con Internet, las interacciones de colaboración basadas en la nube de almacenamiento, los entornos de aprendizaje abiertos y un acceso más rápido desde redes *Wi-Fi*, han contribuido a la comercialización e integración de teléfonos inteligentes (*smartphones*) y tabletas (*tablets*) desde el mercado de consumo hasta nuestras casas y han abierto un nuevo horizonte de comunicación global para cualquier persona que quiera o pueda interactuar con él, incluidos aquellos de bajo poder adquisitivo. Los teléfonos inteligentes y las tabletas han llegado a regiones donde la educación no podía llegar debido a su alto coste. La interfaz multi-táctil y las aplicaciones básicas que la integran: calendario, reproductor de música, álbumes de fotos, correo electrónico, libros electrónicos, linterna, GPS, reloj, aplicaciones de aprendizaje, juegos, cámara de fotos, aplicaciones para acceder a redes sociales, etc. han dado a la huella dactilar el poder de cambiar la forma en la que se entiende el mundo. Ya no necesitamos llevar de viaje muchos útiles independientes, en un Smartphone llevamos lo imprescindible y accedemos a toda la información que podamos necesitar.

Un simple gesto, rozar una pantalla táctil con un dedo, ha dado lugar a un nuevo panorama educativo todavía en estado de shock. Este nuevo salto tecnológico introduce nuevas formas de aprendizaje en cualquier formato digital, accesible a cualquier hora desde cualquier lugar y personalmente adaptado. Los datos de Telefónica [7] del año 2010 muestran 5.000 millones de usuarios de teléfonos móviles en el mundo, 2.000 millones de usuarios de Internet y 9.000 millones de dispositivos conectados a Internet.

El aumento en el uso de los teléfonos inteligentes y las tabletas que son más potentes, rápidos y más ligeros que cualquier ordenador personal, junto con el aumento de su uso por cualquier individuo de cualquier grupo de edad, pone de manifiesto el uso de los mismos en todos los niveles educativos y económicos.

La evidencia nos induce a pensar en la transformación del aprendizaje a lo largo de la vida tal y como lo conocemos. Integrar los sentidos del tacto, la vista y la audición en un solo gesto digital, ha provocado una gran diferencia con el

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

resto de herramientas tecnológicas ya que permite la movilidad y la comunicación en diferentes formatos digitales. El uso generalizado de estos dispositivos personales que invitan a la actividad y el aprendizaje constantes han hecho de ellos mismos una extensión de los órganos sensoriales humanos que transforman la relación del individuo con el mundo [8]. Estos dispositivos digitales tienen la capacidad de crear nuevos hábitos que ayudan a crear nuevos enfoques del conocimiento.

Desde 2010, cualquier padre en su casa puede observar cómo sus hijos, desde edades muy tempranas muestran un interés especial y un acercamiento inmediato a los teléfonos inteligentes y las tabletas. El neurocientífico Jordy Kaufman y su equipo en *Swinburne's Brain and Psychological Sciences Research Centre*, está llevando a cabo estudios sobre cómo los niños aprenden de los dispositivos con pantalla táctil y, posteriormente, cómo transfieren los conocimientos adquiridos en habilidades de la vida real. Kaufman afirma que el uso de apps en dispositivos táctiles es relevante para las personas de todas las edades, pero el cambio es particularmente llamativo en niños pequeños, que hasta ahora no podían utilizar otros dispositivos por sus exigencias físicas y cognitivas. Estas demandas han desaparecido en gran medida por el uso de esos dispositivos táctiles por niños menos de 2 años [9]. La retroacción háptica en el cerebro infantil acelera el lenguaje y el desarrollo cognitivo [8], lo que permite que puedan convertirse en expertos de cosas que todavía no conocen ni saben, son niños que crecen como los iScholars de la Generación háptica [2].

C. El iScholar

La neurociencia ha demostrado que el cerebro se organiza continuamente por sí mismo en respuesta a diferentes tipos de estimulación [10]. Si un bebé que todavía no habla aprende por retroacción háptica, el hábito que adquiera raramente podrá alterarse, por ejemplo entender conceptos abstractos, conceptuales o concretos en una lengua extranjera extraídos del uso en contextos reales transferidos por programas o apps educativas e infantiles visualizados a través de aplicaciones para pantallas táctiles. La irrupción de tabletas y teléfonos inteligentes como herramienta preferida para acceder a los medios de comunicación y los contenidos de aprendizaje ha cambiado sustancialmente el panorama real de la educación global, los nuevos hábitos se han introducido no sólo en los adultos, sino también en los niños. Las encuestas muestran un aumento de la presencia digital en línea de los niños menores de 8 años [11]. Desde que nacen estos niños están expuestos a la música y al sonido de la voz, a la visualización de imágenes, a la imitación por tacto, así como a reaccionar con expresiones y gestos cuando fijan su atención en el movimiento del dedo del adulto y el contacto táctil de la pantalla que causa el cambio repentino de imágenes y sonidos que aparecen en la pantalla [2].

La huella dactilar sobre una pantalla táctil ha sacudido con fuerza el panorama educativo incorporando nuevas habilidades personales intrínsecas de la investigación activa y la creatividad que además se conjugan con la colaboración entre iguales, lo que les permitirá convertirse en expertos natos en múltiples campos al mismo tiempo.

El "*Einstein medical Center of Philadelphia*", "*The Institute for Learning & Brain Sciences*", o el "*Baby lab of Swinnburne Universitu of Tecnology*" son solo ejemplos de centros de investigación que están llevando a cabo estudios sobre cómo utilizan los dispositivos táctiles los niños que todavía no hablan. Los estudios están enfocados a averiguar si los dispositivos implican aprendizaje por pura observación acelerando la adquisición del lenguaje y el crecimiento cognitivo [12], si las aplicaciones educativas son realmente educativas o no [13], entre otros. Si se expone a los bebés a este tipo de herramientas es posible que sus mentes respondan de manera diferente cuando traten de aprender contenidos nuevos o interactúen y colaboren en entornos educativos. Estos bebes están adquiriendo nuevos hábitos en los que lo táctil, lo auditivo y lo visual se unen en un solo sentido y todos los inputs que se adquieren a través de ese único y amplio sentido, un único gesto, serán transferidos y multiplicados transversal y multidisciplinariamente, dando como resultados unos outputs diferentes o más tempranos que en la actualidad con las herramientas que ya conocemos.

Los resultados obtenidos demuestran que los bebés aprenden rápidamente nuevas habilidades y costumbres, mientras imitan las acciones de otros [12]. Al imitar y tocar un icono en un dispositivo táctil, lo visual, lo táctil y lo auditivo entran en juego al unísono. Con un solo movimiento se adquieren nuevas rutinas y hábitos que pueden conducir a la creación de nuevas habilidades personales, habilidades que le permitirá ir más allá de los límites de sus propias capacidades y que incrementará su propia creatividad.

La tecnología táctil como herramienta de mejora en ciudadanos digitales enfatiza la exploración sin límite y el aprendizaje personal. También puede ayudar a diseñar su currículo personal de aprendizaje con alternativas en diversos campos, los que más le interesen, creando nuevos expertos multidisciplinares. Por todo ello, la sociedad tiene que estar preparada para su llegada.

Las Universidades, los responsables políticos, las administraciones y las partes interesadas deben ser más innovadoras que nunca y tender un puente entre las futuras capacidades de la generación háptica con la futura demanda de mercado. Es aquí donde una actitud y una respuesta resiliente deben de ser definidas cuando se habla de educación. El crecimiento económico actual y sus objetivos de mercado, lo que se llama "economía basada en la innovación" han elaborado un cambio en la demanda de capacidades en trabajadores no cualificados o no formados que comienzan a ser un problema, incluso un riesgo para el crecimiento económico. El documento ejecutivo del Foro Económico Mundial [14] dice que más de un tercio de las compañías mundiales encontró dificultades para cubrir las vacantes en el año 2014 debido a la escasez de personas con habilidades clave e imprescindibles para el nuevo mercado de trabajo [14] que explica por qué se necesitan esas nuevas habilidades en el siglo XXI.

Como puede observarse, cuando hablamos de educación, sobre la mesa tenemos nuevos elementos. Nueva tecnología informática, junto con los dispositivos táctiles en nuestros bolsillos han dado nuevos roles a los maestros y los estudiantes, incluso en economías desfavorecidas y ofrece la

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

posibilidad de creer en un nuevo y motivado estudiante que será requerido y muy necesario en un mercado de trabajo diferente e incipiente; el iScholar.

Llobregat-Gómez y Sánchez Ruiz [2] definen el iScholar como ese alumno nacido después de 2010 y que se ha criado junto a dispositivos táctiles usándolo para múltiples fines, jugar, aprender, comunicarse con sus mayores; han usado estos dispositivos como extensión de sus manos y cerebros, lo que les ha permitido auto-aprender en cualquier lugar, contexto y tiempo. El aprendizaje, basado en la observación y el entendimiento por conceptos a través de un solo gesto que incluye lo visual, lo táctil y lo auditivo, obviamente, es diferente a aprendizajes anteriores y descritos en pedagogía. Este tipo de aprendizaje basado en descubrimiento permitirá adquirir nuevos conocimientos enfatizando la exploración con una mente abierta, dando rienda suelta a la creatividad, la creación de una red de ideas a través del debate y el discurso, la búsqueda rápida de la reflexión, la iniciativa, la capacidad de adaptación y el liderazgo en una sociedad global que permite la solución de problemas globales. Todas esas nuevas habilidades se pueden lograr con la combinación de elementos antiguos tales como: la pasión, el talento, el instinto natural para la investigación y una mirada creativa para resolver problemas. Las bases de estos métodos ya están implementándose a través del Proceso de Bolonia que supuso un cambio significativo en el enfoque educativo: del aprendizaje centrado en el profesor al aprendizaje centrado en el alumno [15]. Desde esta perspectiva, los alumnos son estudiantes activos que deben desempeñar un papel primordial en su propio proceso de aprendizaje y no actuar como meros aprendices pasivos. Nuevas metodologías han surgido desde el cambio de perspectiva como el aprendizaje basado en problemas, la clase inversa (*flipped-Learning*), el aprendizaje colaborativo, el aprendizaje mixto (*blended learning*), etc. Bajo estas metodologías, los estudiantes a menudo aprenden por sí mismos solos o en grupos.

III. Panorama Actual

La llegada de las Tecnologías basadas en la información y la comunicación (*TICs*) ha ayudado considerablemente al logro de los propósitos del Proceso Bolonia que apostó por el cambio de tipo de enseñanza. La perspectiva del proceso Bolonia está dirigida a los alumnos y a la adquisición de nuevas habilidades básicas sobre pilares fundamentales tales como la alfabetización, las matemáticas y la ciencia; junto a competencias y cualidades del carácter que satisfagan las nuevas necesidades del mercado laboral [14].

Las universidades y el profesorado aprenden al mismo tiempo que sus alumnos, pero no al mismo ritmo. Poco a poco se van ofreciendo soluciones innovadoras para minimizar las diferencias a través de sus programas educativos e iniciativas institucionales. Pero se necesitan más ideas, soluciones, datos y estadísticas para cumplir con las Recomendaciones de la Comunidad Europea en el panorama educativo.

La nueva tecnología táctil puede ayudar a evaluar nuevas medidas para mejorar mucho más nuestra principal responsabilidad: La creación de conocimiento. Si observamos a nuestro alrededor, el sentido común nos dice que nuestros hijos están rodeados por tecnologías digitales que no estaban disponibles hace tan solo 5 años. Sólo desde enero de 2015 la AppStore de Apple tenía 80000 aplicaciones educativas, todas ellas con un propósito educativo dirigido a los niños, e incluso a los lactantes para quienes se han diseñado y comercializado dichas aplicaciones [13]. Si la tecnología está cambiando rápidamente el comportamiento de un adulto, es cuestión de tiempo que los niños vean estos dispositivos como una extensión de su cuerpo.

La sociedad y el sistema económico están pidiendo soluciones educativas para conseguir que los ciudadanos se encaminen hacia una mayor motivación, un alto rendimiento en lectura, matemáticas y ciencias, para evitar el abandono prematuro de las escuelas y los programas de formación, tomando consciencia de que pueden contribuir y mejorar el mundo nuevo y global en el que nos encontramos. Como instituciones educativas, tenemos las herramientas para hacerlo.

Mirando hacia el futuro, creemos firmemente que el iScholar, futuro alumno de nuestras universidades y que llenará nuestras aulas en 2030 tendrá la clave para mejorar la sociedad en la que vivimos y será capaz, como ciudadano resiliente, de construir y mejorar la economía y solventar problemas que surjan a través de nuevas soluciones. Así pues, la sociedad actual debe absorber los nuevos elementos, recuperarse de la conmoción que ha provocado la irrupción de las nuevas tecnologías y debe empezar a adaptarse para transformar las estructuras y medios de vida que satisfagan las necesidades de los iScholars. La llegada de la nueva generación háptica ofrece un terreno sólido a los educadores, los responsables políticos, las administraciones y los intereses sociales por igual, para construir nuevos cimientos como base del conocimiento. Es fundamental tener una perspectiva activa y una actitud positiva en todos los niveles económicos y sociales de la sociedad global para su consecución.

La enseñanza universitaria juega un papel fundamental en esta adaptación. Tiene la capacidad de transformar no sólo las estructuras educativas, sino también cualquier nivel económico y social que la sociedad que quiera solventar las necesidades y los objetivos futuros. Políticas innovadoras basadas en estrategias digitales docentes y dirigidas al nuevo ciudadano digital, el iScholar de 2030, son una necesidad en el sistema educativo actual. Esos futuros estudiantes son las semillas de la sociedad que le ayudarán, una vez hayan crecido, a construir y redefinir su propio crecimiento. La sociedad tiene que enfrentarse a sus propios riesgos utilizando el conocimiento para motivar cambios reales y las instituciones universitarias tienen las claves para motivar esos cambios basados en el conocimiento.

IV. Iniciativas Educativas Basadas en la Innovación

Hoy en día, las instituciones educativas de cualquier nivel, desde el más básico hasta el universitario, están implementando nuevos planes de estudio y nuevos métodos de enseñanza con el objetivo de enseñar al mismo tiempo múltiples habilidades, dirigiéndose esencialmente a las necesidades de cualificación futura que se acerquen lo máximo posible a la interacción global. Las nuevas iniciativas nacidas de las TICs y los dispositivos táctiles se benefician de la educación y la educación de ellos; y se

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

usan en enfoques de aprendizaje mixto que mezcla la clase teórica tradicional y el aprendizaje online, lo que le da una nueva visión a la educación que conocemos [14].

Tenemos muchos ejemplos de estas iniciativas innovadoras en programas formativos como "*Read 180*", "*Dreambox*" (aplicación matemática), "*Knewton Engines*"; "*open educational resources (OER)*" [14]; escuelas emergentes como "*Steve JobsSchools*" en los Países Bajos [16], "*Bridge International Academies*" en Kenia, "*Innova Schools*" en Perú, "*Summit Public Schools*" en Estados Unidos, "*Caxton College*" en España, etc.; entre otros.

Estos enfoques pedagógicos [14] son experimentales y están basados en proyectos, preguntas, búsqueda personal de respuestas a través de la investigación y adaptativos en cuanto al objeto de aprendizaje; teniendo en común las siguientes características:

- Infraestructura tecnológica. Lo que permite una mayor eficiencia, eficacia y productividad a todos los niveles, para ayudar a los profesores a ser más eficientes y productivos en cuanto al desarrollo de sus propias habilidades y la consecución de las nuevas demandas de los alumnos.
- Generación y obtención de datos de diferentes fuentes como los sistemas de información tradicionales o sistemas online de gestión de datos.
- Visión global de los métodos de aprendizaje dirigidos a los diferentes rendimientos de los estudiantes.
- Prácticas transferidas a entornos con infraestructura deficiente.
- La educación a un precio relativamente bajo.
- Más contenidos y recursos.

Los planes de estudio y la metodología se modifican de acuerdo con su misión, la infraestructura y las prácticas pero todos ellos persiguen el mismo objetivo: crear conocimiento a través de la educación y la obtención de habilidades para la innovación, tales como, habilidades técnicas, pensamiento crítico, creatividad y habilidades sociales [17].

V. Los Planes de Estudio Futuros

El mercado económico exige trabajadores con habilidades y competencias potenciales y en este momento sólo unos pocos trabajadores han adquirido estas habilidades clave. De hecho, el proceso de Bolonia presta especial atención al logro de competencias a lo largo del proceso de aprendizaje [18]. Las políticas europeas se centran en el crecimiento inteligente a través del desarrollo del conocimiento y la innovación como punto de partida para llevar a cabo el proceso de adaptación. La sociedad global establece un nuevo contexto en el que los problemas no se pueden solucionar con modelos antiguos, se necesitan nuevos modelos. Los estudiantes y los profesores tienen nuevos roles con nuevas habilidades, capacidades y demandas, y además gestionan nuevas variables como la retroacción táctil, la competencia digital y el aprendizaje basado en el descubrimiento. La tecnología nos ofrece una nueva forma de hacer frente a estas lagunas mejorando la calidad de la educación. Las herramientas digitales pueden ayudar a desarrollar nuevos hábitos de aprendizaje que enaltezcan la educación.

Los iScholars cumplirán todos los requisitos y adquirirán las habilidades necesarias y desarrollarán otras nuevas si los factores contextuales son los adecuados para ellos. En este momento esas habilidades varían entre los países ricos [14], pero los dispositivos táctiles pueden hacer que todos los países estén al mismo nivel o por lo menos con menores diferencias. Desde las universidades se debe hacer un esfuerzo por desarrollar estrategias digitales docentes que ayuden a crear nuevos objetivos de aprendizaje basados en la solución de problemas, usando la enseñanza mixta y así obtener abiertas y creativas soluciones o productos, a través de la evaluación abierta, y permitir al alumno la intervención dirigida para encontrar nuevas e integrales soluciones desde los errores creativos.

La irrupción del iScholar en nuestras aulas es la mejor excusa que la educación puede tener para fomentar la pasión por el aprendizaje durante toda la vida, que ayude a cultivar los diferentes modos de pensamiento, así como las habilidades que inciten a construir una sociedad productiva bajo una identidad que lleve implícito el compromiso de contribuir a una interdependencia global responsable [19].

VI. Conclusiones

El enfoque tradicional de la gestión de riesgos como sociedad resiliente se asocia con una respuesta humanitaria. El panorama educativo como riesgo necesita más que la respuesta humanitaria tradicional porque trata problemas a largo plazo que implican muchos aspectos de la sociedad global, innovaciones tecnológicas y un cambio radical en la forma de confrontar y solucionar las crisis. La educación juega el papel más importante en la vulnerabilidad de las personas cuando hablamos de aprendizaje durante toda la vida que puede hacer que un país vaya del éxito al fracaso o todo lo contrario. Las estrategias digitales docentes deben mirar a los nuevos y futuros estudiantes como punto de partida de sus resultados.

La tecnología nos está indicado que nuestras políticas deben ser más innovadores que nunca. Podemos dar un enfoque resiliente para enfrentar el cambio, es decir, introducir una nueva forma de pensar, de analizar, de trabajar juntos, de construir nuevas soluciones educativas; todo ello para construir nuevas habilidades y herramientas que ayuden a gestionar e incluso beneficiarse de los riesgos y las oportunidades que la vida nos ofrece.

Las instituciones universitarias, como parte fundamental del crecimiento de una sociedad, juega un papel crítico en conseguir este logro; desde ellas, nuevas estrategias docentes dirigidas al nuevo ciudadano digital, el iScholar de 2030, son absolutamente necesarias y fundamentales, de manera que podamos ver un cambio real en a corto y largo plazo para que la sociedad pueda colaborar en su propio crecimiento. La sociedad tiene que enfrentarse a sus propios riesgos utilizando el conocimiento para motivar cambios reales. Los centros universitarios, los académicos, tienen la clave para motivar cambios basados en el conocimiento. Si la academia encuentra la llave llegar a nuestros futuros estudiantes, los iScholars, éstos nos ofrecerán las soluciones que necesitamos para recuperarnos de cualquier catástrofe social o natural.

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la Ayuda recibida desde Proyectos de Innovación Docente, PID-DMA-2014, Departamento de Matemática Aplicada, UPV 2014; Proyecto de Innovación y Mejora Educativa PIME B-24, Vicerrectorado de Estudios, Calidad y Acreditación (VECA), UPV 2014.

REFERENCIAS

[1] A. Mitchell, "Risk and Resilience: From Good Idea to Good Practice. A scoping study for the Experts Group on Risk and Resilience," OECD Education Working Papers, France, 2013.
[2] Llobregat-Gómez, N.; Sánchez-Ruiz, L.M., "Defining the Engineering Student of 2030" SEFI conference. pp 110. Proceedings of 43rd SEFI Conference, France, 2015.
[3] Recommendation 2006/962/EC of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 on key competences for lifelong learning [Official Journal L 394 of 30.12.2006]. [Online]. Available: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:c11090. [Accessed: 01-April-2015].
[4] "PISA 2012 Results." [Online]. Available: http://www.oecd.org/pisa/keyfindings/pisa-2012-results.htm. [Accessed: 01-April-2015].
[5] D.-G. of E. and C. (DG EAC), "The Education and Training Monitor 2014," European Union. [Online] Available: ec.europa.eu/education/monitor. [Accessed: 01-April-2015].
[6] M. Prensky, "Digital Natives, Digital Immigrants," From Horiz., vol. 9, no. 5, pp. 1–6, 2001.
[7] "How will be the world in 2020?" [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=XB0CORT1k9w. [Accessed: 01-Jun-2015].
[8] H. Gardner, K. Davis, "The app generation" Yale University Press, Michigan, pp. 15-34 p 23. 2014.
[9] "What Makes an App Educational?" [Online]. Available: https://www.cogneurosociety.org/ed_apps_kaufman_may15/. [Accessed: 01-April-2015].
[10] M. Prensky, "Don't Bother Me Mom--I'm Learning!. St. Paul : Paragon House, 2006
[11] D. Holloway, L. Green, and S. Livingstone, "Zero to eight. Young children and their internet use". LSE, London: EU Kids Online. 2013
[12] A. N. Meltzoff and W. Prinz, "The imitative mind: Development, evolution, and brain bases". Cambridge University Press. Cambridge. Pp 353. 2002.
[13] K. Hirsh-Pasek, J. M. Zosh, R. M. Golinkoff, J. H. Gray, M. B. Robb, and J. Kaufman, "Putting Education in 'Educational' Apps: Lessons From the Science of Learning," Psychol. Sci. Public Interes., vol. 16, no. 1, pp. 3–34, Apr. 2015.
[14] "New Vision for Education: Unlocking the Potential of Technology" World Economic Forum. [Online]. Available: http://www.weforum.org/reports/new-vision-education-unlocking-potential-technology. [Accessed: 27-May-2015].
[15] D. Croisier, L. Purser, and H. Smidt, "Trends V: Universities Shaping the European Higher Education Area", EUA Report, 2007.
[16] Education according to O4NT. Available: http://stevejobsschool.nl/. [Accessed: 01-Ápril-2015].
[17] S. Hoidn and K. Kärkkäinen, "Promoting Skills for Innovation in Higher Education," OECD Education Working Papers. Organisation for Economic Co-operation and Development, 2014.
[18] M. Edwards, L. M. Sánchez-Ruiz, and C. Sánchez-Díaz, "Achieving competence-based curriculum in Engineering Education in Spain," INGENIO Work. Pap. Ser., no. 2009–04, Jun. 2009.
[19] R. Takanishi, "Do Our Education Systems Do Enough to Enable Learners to Flourish as Independent, Autonomous and Well-Balanced Individuals?," Eur. J. Educ., vol. 50, no. 2, pp. 123–127, Jun. 2015.

Nuria Llobregat-Gómez (Valencia, 1972) Es Licenciada en Filología Inglesa por la UNED (2005-2012) (Madrid, España). Desde 2015 es estudiante de Doctorado de la Universitat Politècnica de Valencia (Valencia, España), en el programa de Doctorado en Lenguas, Literaturas y Culturas, y sus Aplicaciones y está escribiendo su tesis en temas relacionados con estrategia digital docente.

Desde 1996 trabaja en la Universitat Politécnica de Valencia como administrativa y desde Enero de 2016 es profesora Asociada del Departamento de Lingüística Aplicada donde imparte docencia como profesora de inglés en diferentes Ingenierías. Los artículos más destacados, además del publicado en WEEF'15 son: Llobregat-Gómez, N.; Sánchez-Ruiz, L.M., "Defining the Engineering Student of 2030" SEFI conference. pp 110. Proceedings of 43rd SEFI Conference, France, 2015; N. Llobregat-Gomez, J.-A. Morano, M.-D. Rosello, and L. M. S. Ruiz, "Blended learning at maths with aerospace engineering freshmen," in 2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), 2015, pp. 1–4. N. Llobregat-Gómez, "El Lobo ha muerto," 1997.

Miembro del grupo de investigación CITG (2001-2014), Hidrogeo (desde 2015) y GRIM4E, GRoup of Innovative Methodologies and assessment For Engineering education (desde 2016)

Luis M. Sánchez Ruiz (Tetuán, Marruecos, 1958). Licenciado en Matemáticas por la Universidad de Valencia (UV), España en 1980 y Doctor en Matemáticas (UV) en 1988. Actualmente Su investigación se centra en los puntos de vista teóricos y aplicados del análisis funcional así como en la Educación en Ingeniería.

Trabaja como profesor de la Universitat Politécnica de Valencia desde 1980, y es Catedrático desde el año 2000. Imparte docencia dirigida principalmente en el campo de Ingeniería Electrónica y Aeronáutica, ha sido profesor visitante de la Universidad de Florida, Gainesville, FL, USA desde 1992 a 1999. Actualmente es Director de Área de programas de Investigación e Innovación del Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia (desde 2015). Anteriormente entre otros cargos ha sido Subdirector de relaciones internacionales en la ETSID (1989-1991 y (2011-2015). Ha publicado más de 150 trabajos en revistas científicas y actas de congresos, más de 10 libros de texto de Matemáticas para ingenieros, y es co-autor de Research monograph Metrizable Barrelled Spaces (Harlow/New York: Pitman Research Notes in Mathematics Series Vol. 332, Longman, 1995), y Achieving competence-based curriculum in Engineering Education in Spain, Proceedings of the IEEE 97, 10 (2009), 1727-1736.

Es coordinador del grupo GRIM4E (UPV) (desde 2015), miembro del Comité editorial de Scientiae Mathematicae Japonicae y vicepresidente de SEFI (European Society for Engineering Education) (2015-2018). Ha trabajado como revisor para comités de programa de IEE Frontiers in Education Conference.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Capítulo 2

Hacia el Laboratorio Virtual Definitivo

Carlos Rioja del Río, Arturo Morgado Estévez y Eduardo Romero Bruzón

***Title*— Towards a definitive virtual laboratory.**

***Abstract*— Concerning Engineering Education, and talking about the important moment in which we are on e-learning (and particularly on MOOCs), the problem of conditioning our laboratories to the great possibility of possible options for current and future change arises.**

In this paper we present a novel parametric solution to use remote laboratories regardless of the given technology. We begin with a brief survey of Engineering Education in MOOCs and the continue with our idea of virtual lab (which solves one of the main problems on Engineering e-learning: hands on working).

***Index Terms*— Engineering Education, Virtual Lab, e-learning, Microcontrollers**

***Abstract*— Dado el importante momento en que nos encontramos en el concepto de Educación en Ingeniería y su combinación con la educación a distancia, incluyendo MOOCs, estudiamos el acondicionamiento de nuestros laboratorios para los desafíos actuales y futuros.**

En este artículo presentamos una novedosa solución parametrizable, independiente de tecnología y de número s de usuarios. Comenzando con un breve estudio sobre la situación actual para entender la problemática de los laboratorios virtuales y remotos, y por tanto la necesidad de permitir a cualquier alumno el trabajo directo con la plataforma.

Se describen los bloques principales y la estrategia a seguir a la hora de diseñar laboratorios virtuales para la ingeniería: Uso de un sistema controlador, una matriz de multiplexación y un JTAG. Se presenta como demostrador un laboratorio virtual para el kit de desarrollo del microcontrolador LPC4088 de la empresa NXP, basado en un Cortex-M4.

***Index Terms*— Educación en Ingeniería, Laboratorios Virtuales, Educación a distancia, Microcontroladores**

I. Introducción

La situación actual respecto a la relación entre la información como tal y aquel que busca aprender ya fue claramente anticipada por Isaac Asimov en el programa de Tv "El Mundo de las Ideas" de Bill Moyers. Allá en el año 1988. En el pasado la relación entre el conocimiento y la gente era transitiva y a menudo impuesta. Los que podían permitirse el acceso a la educación, (solo un pequeño porcentaje) contrataban a un tutor para ser el enlace entre el sujeto y el conocimiento. Después de esto llegó el momento en el que todo el mundo casi por obligación tenía que ser educado, y se pasó de un maestro individual a los maestros para grupos, con los normales problemas de aprendizaje, de adecuación y de correcta retroalimentación con cada uno de los "consumidores del conocimiento".

¿Entonces cómo podemos hacer que el conocimiento sea completo y flexible? las personas interesadas en saber acerca de un tema en particular podrían ajustar sus necesidades, su tiempo, su capacidad mental, su propósito, para la obtención del aprendizaje deseado, de manera interesada, asequible, y atractiva.

Todos conocemos los MOOCs como cursos donde los participantes se distribuyen y los materiales del curso también se dispersan a través de la web. Esto sólo es posible si el curso está abierto y funciona mucho mejor si el curso es grande. El MOOC no es una reunión, sino más bien una manera de conectar los instructores y alumnos distribuidos a través de un tema común o campo de discurso, dirigido a la participación ilimitada. Además de los materiales del curso tradicionales, tales como videos con conferencias, clases, explicación de problemas, muchos MOOCs ofrecen foros de usuario interactivos para apoyar la comunicación fluida de comunidad entre los estudiantes, profesores y ayudantes del profesor.

El formato de los cursos sería principalmente el siguiente: en primer lugar es una presentación en vídeo, a continuación contenidos que normalmente toman la forma de pequeños vídeos cortos, en los que las partes a tratar se explican. Los videos son compatibles y contienen unas pequeñas pruebas de lectura y de autoevaluación en formato de opción múltiple. Igualmente, algunas de las tareas y actividades que se realizan son de evaluación por pares, es decir, los miembros de la comunidad educativa se evalúan entre sí.

Pero ¿qué hay de la práctica en la enseñanza? ¿Por ejemplo la práctica en enseñanza de Ingeniería?¿Estamos evitando una necesidad? ¿O bien la estamos menospreciando con aproximaciones que nunca llegan a satisfacer a los usuarios?

Con la solución que presentamos en este capítulo, entre otras cosas, se permitirá a los estudiantes programar cualquier microcontrolador desde un escritorio con conexión a Internet. Introducimos aquí un laboratorio remoto de trabajo que tendrá autenticación, autorización, seguimiento de los usuarios, y programación. Todo de manera real, no se virtualiza, simplemente se habilita un uso remoto, pero es importante destacar que los alumnos estarán interactuando con el micro real. Primeramente se ha realizado una investigación en laboratorios remotos existentes y los métodos que se utilizan, evaluando cada uno de ellos. Tras el estudio se selecciona un método propio de trabajo. El método elegido es la creación de una interfaz basada en web para estudiantes, de manera que pueden iniciar sesión, elegir su laboratorio, introducir el código fuente de programación, configurar algunos parámetros, y testear la solución. Por ejemplo visualizando desde un lugar remoto si se encienden

Este trabajo fue presentado originalmente al World Engineering Education Forum 2015

Carlos Rioja del Río, Arturo Morgado Estévez, Eduardo Romero Bruzón pertenecen a la Universidad de Cádiz, España (e-mail: {carlos.rioja, arturo.morgado,eduardo.romero}@uca.es).

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

los LEDs de un ejercicio concreto. Independientemente de la localización y número de alumnos.

Los primeros objetivos de este trabajo son:

- Breve encuesta sobre los e-cursos de ingeniería y sus limitaciones
- Definición un curso (y laboratorio remoto)
- Ejemplo específico
- Creación de interfaz web
- Conexión con la base de datos de configuración
- Verificación del usuario
- Programación
- Programa microcontrolador
- Retroalimentación
- Retroalimentación visual y auditiva
- Pulsación de botones

II. Estado del arte en E-Engineering Education

Para entrar un poco en situación, y sobre todo saber de la idoneidad del trabajo en educación en ingeniería, se ha realizado una exhaustiva búsqueda sobre referencias MOOCs en microcontroladores. Hemos visitado diferentes plataformas para comprobar si existen este tipo de cursos. En casi de todos ellos están separados en categorías, y prácticamente no relacionados con la ingeniería y/o informática, siempre en comparación con todos los demás. Por ejemplo en la plataforma EdX se encontraron 467 cursos de categorías relacionadas con la ingeniería, incluyendo Ciencias de la Computación con 88, con 24 Electrónica e Ingeniería con 91.

Otros ejemplos pueden ser encontrados en los cursos de electrónica de la Universidad Tecnológica de Austin, con una duración de 15 semanas y 10 h por semana. En estos cursos se trabajan con microcontroladores ARM de la familia de Cortex M4 y una placa de desarrollo Texas Instruments. El estudiante debe adquirir el equipo necesario para la práctica. (Lo cual como podemos imaginar es un impedimento insalvable para muchos usuarios).

En MiriadaX se encontraron 51 cursos específicos en la categoría de Ciencias Tecnológicas, hay una titulada Robots y videojuegos en el aula, con elementos Arduino y duración de 6 semanas. En Coursera en la categoría Ingeniería existen 84 cursos. Uno de ellos se titula entendiendo microcontroladores, de la École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Su duración es de 7 semanas y 7 horas por semana. En Udacity, así como otras plataformas, apenas se ha encontrado nada acerca de los microcontroladores en el momento de este trabajo.

En la metodología seguida en esta investigación, y buscando sistemas altamente parametrizables, se ha comenzado con un micro en particular, para luego poder expandir a cualquier familia posible. Lo cual pensamos es uno de los elementos fundamentales de éxito en este aporte, la independencia de la plataforma utilizada.

El microcontrolador que será utilizado es el ARM Cortex M4, LPC4088. El chip es producido por NXP, pero se basa en la arquitectura desarrollada por ARM. Este es un dispositivo de 32 bits que está equipado con funciones de comunicación tales como: USB, Ethernet, LCD, CAN, I2C, I2S. Este chip combina instrucciones de 16 bits y de 32 bits para lograr una buena densidad de código con alto rendimiento. El chip utiliza una arquitectura tipo Harvard. Esto significa que la memoria de datos y memoria de programa están separadas físicamente y ambas tienen su propio bus a la CPU. Esto permite que los datos y las instrucciones se puedan cargar al mismo tiempo que aumenta la eficiencia del controlador.

Otras características del controlador son:

- Procesador de reloj de hasta 120 MHz
- 5125kB FLASH en el chip
- 96kb SRAM en el chip
- 3,3 V fuente de alimentación
- Hasta 165 pines I/O de propósito general
- Controlador de interrupciones vectorizado (múltiples niveles de interrupción)
- Varios modos de potencia "low power" (eficiencia energética)
- ADC
- DAC

El GPIO y temporizadores de alta velocidad se utilizan a menudo en los ejercicios des laboratorio.

Otros Laboratorios Remotos

Todos los laboratorios remotos encontrados basados en web constan de 2 partes lógicas, el cliente y el servidor. El servidor es un equipo que ofrece servicios y el cliente es un equipo que utiliza estos servicios. Varios clientes pueden comunicarse con varios servidores al mismo tiempo, mientras que más de un cliente se puede conectar al mismo servidor a la vez.

En la Universidad de KHK Geel en Bélgica se ha desarrollado un interesante proyecto para permitir a los estudiantes programar los equipos de red desde sus hogares. Utilizando el software VNC (Virtual Networking Computing) estos equipos pueden ser controlados desde una ubicación remota. VNC es un paquete de software gratuito basado en la RDP (Remote Desktop Protocol) creado por AT & T. Se trata de un mecanismo de intercambio de escritorio que se puede ejecutar en todos los sistemas operativos, replicando la interfaz de usuario. Mediante el uso de un visor basado en web, el estudiante se conecta al software en la máquina virtual desde el escritorio de laboratorio. Esta conexión se desarrolla al conocer la dirección IP de la máquina virtual y el puerto a través del cual se comunica. La ventaja de este método es que el usuario sólo tendrá acceso a la máquina virtual.

Otro ejemplo similar es EDIVIDE (European Digital Virtual Designlab). Este es un proyecto creado en colaboración con diferentes centros de Europa dentro de Programa de aprendizaje permanente Erasmus+.

El objetivo es crear una plataforma utilizable por todas las universidades participantes para permitir a sus estudiantes programar entornos de laboratorio basados en FPGA a través de una interfaz web. Esta interfaz web también proporcionara retroalimentación al estudiante gracias a la transmisión de imágenes de una cámara de vídeo. Los estudiantes que utilizan EDIVIDE necesita tener el software de programación para crear el código VHDL en su propio escritorio.

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

El sistema consta de los siguientes dispositivos:

- FPGA
- placa desarrollo FPGA
- Servidor de Laboratorio
- Servidor Host Edivide
- interfaz web de usuario
- cámara

El software necesario para compilar y programar el FPGA está instalado en el servidor de laboratorio local. La FPGA se encuentra en la placa de desarrollo que está unido al equipo en el que está instalado el servidor de laboratorio. La conexión se realiza mediante un cable de programación JTAG un RS232 y. El servidor local está situado en una red virtual junto con un servidor Edivide anfitrión (host) y los servidores locales. Estos servidores se comunican a través de Internet en una red privada virtual. El servidor host envía entradas desde el usuario al servidor local correcta y se ocupa del inicio de sesión, la programación, y autorización.

Cuando un usuario se encuentre navegando en la página web de Edivide puede elegir una configuración de laboratorio y un ejercicio en particular en esta configuración. Cuando el estudiante termina de crear el código VHDL para este ejercicio se carga el archivo con su código. Este archivo se envía al servidor local de la configuración que se ha elegido. Este servidor se compilará y guardar el código. En ese momento el usuario puede elegir el momento que le gustaría probar su código seleccionando de entre los disponibles. Cuando este período está activo el programa del usuario se recupera de la memoria y se prueba. El usuario también será redirigido a una interfaz web en la que puede modificar algunos parámetros. El usuario puede ver el resultado mediante la cámara de video. Es importante comentar que aunque hay muchos elementos interesantes y replicables en este trabajo, el software de EDIVIDE no es un software abierto y por lo tanto no se puede reutilizar ni copiar.

Otras plataformas si son open source. Con esto, el mantenimiento del laboratorio remoto también será más fácil ya que el software puede ser actualizado y modificado por los usuarios de una manera sencilla. Como contrapartida vemos que el uso de estas plataformas también te hace dependiente de la plataforma y disminuye la flexibilidad de uso. Al ser una plataforma externa por ejemplo no podemos saber cuándo el sistema no estará disponible por mantenimiento, copia de seguridad, u otras labores.

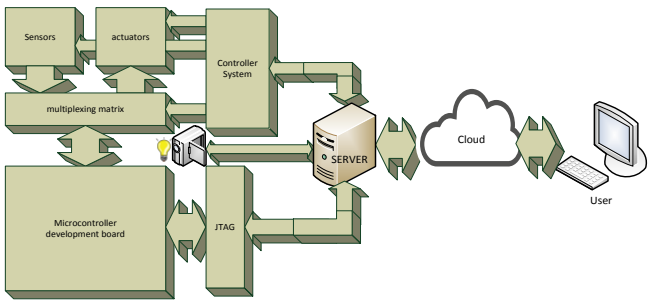
Ejemplos de estas plataformas son:

- El proyecto Deusto Web Lab de la Universidad de Deusto
- ilab MIT de la Universidad de Cambridge en Massachusetts
- VLCAP (laboratorios virtuales de plataformas de colaboración y accesibilidad) en india
- LiLa (biblioteca de Labs) iniciativa de 8 universidades europeas y 3 empresas

III. Acercamiento y más allá

Una vez hemos estudiado a fondo las distintas opciones existentes, entendemos que el verdadero y definitivo laboratorio remoto debe ser accesible, gratuito, y potente. Esto se consigue de varias maneras, en nuestro caso pensamos que la independencia de la plataforma de estudio es fundamental para el desarrollo en distintas localizaciones de este trabajo. De la misma manera la independencia del número de clientes se consigue en función a los servidores utilizados en la ya más que asentada interfaz web cliente-servidor. A continuación mostramos los detalles de implementación estructurales del sistema, incluyendo algunos ejemplos específicos.

El esquema general del sistema servidor es el que aparece en la siguiente figura:



El sistema servidor controla:

- El JTAG que se comunica con la microcontroller development board.
- El Controller System que supervisa la multiplexing matrix y los sensors and actuators.
- La webcam e iluminación.
- La conexión con el sistema cliente a través de internet.

Server-JTAG-Microcontroller development board

Una vez que el usuario genera el código máquina mediante el Microvision software, el ordenador cliente envía este fichero al server computer. La aplicación en el server recibe el código máquina que lo envía a la Microcontroller development board a través del JTAG, ejecutándose el programa.

Server-Controller System-Multiplexing matrix-Sensors-Actuators

La aplicación del server computer recibe la configuración básica del sistema cliente para interconexionar los sensors y los actuators con las entradas y salidas de la microcontroller development board mediante la multiplexing matrix. Esta información es procesada por el Controller system que es el que configura las interconexiones.

Server-webcam-iluminación

La webcam y la iluminación del escenario son controlados por el servidor. Se activarán cuando un usuario se autentique y active la plataforma. La webcam envía la imagen al ordenador cliente para que el usuario vea el progreso de la práctica.

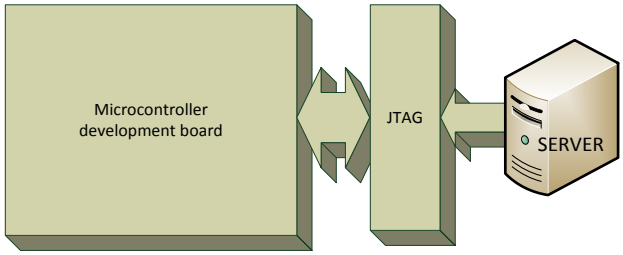
Server-conexión con el sistema cliente a través de internet

El servidor estará ubicado en el local donde se encuentre el laboratorio que será el que controle toda la plataforma del MOOC. El ordenador cliente será el del usuario desde su lugar de trabajo o de casa, realizando las prácticas que estén programadas en el MOOC y es donde interactúa con la plataforma del microcontrolador.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Descripción detallada del bloque Server-JTAG-Microcontroller development board

La Microcontroller development board se controla por el servidor a través del JTAG.



Existen en el mercado gran número de development board (Por coherencia algunos términos se dejan en idioma inglés):

Microcontroller based:

- AVR Family: Arduino (Uno, Leonardo, Due, Yún, Zero, Mega, etc), Olimex (AVR XMEGA, AT90USB), AVR Butterfly, AVR-PX128A1, AT90USB ProtoBoard, etc.
- ARM7 (AT91SAM7 ARM, AT91SAM7S256), TinyRM, etc.
- Otras familias: ARM9, C16x, ColdFire, Cortex-M0, Cortex-M3, Cortex-M4, HC08/HCS08, HC12/HCS12/S12X, MSP430, PIC, BASIC Stamp (2, 2E, 2P).

Microcomputer based:

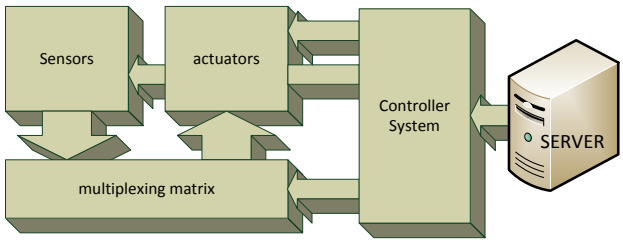
- Raspberry Pi (A, A+, B, B+, development Kit, etc.), BeagleBoard (xM, BeagleBone, Black), Intel Galileo, SBC6845, SBC-R9-2100 ARM9, Embest SBC6000X, Ethernut 5.0, PhidgetSBC3, , , SAM7 (AT91SAM7 ARM, AT91SAM7S256)

Otras placas: FPGA based: Altera (Arria II, Cyclone), Xilinx (Virtex, Spartan); DSP based: Freescale MSC8156ADS, MPC8536DS, etc.

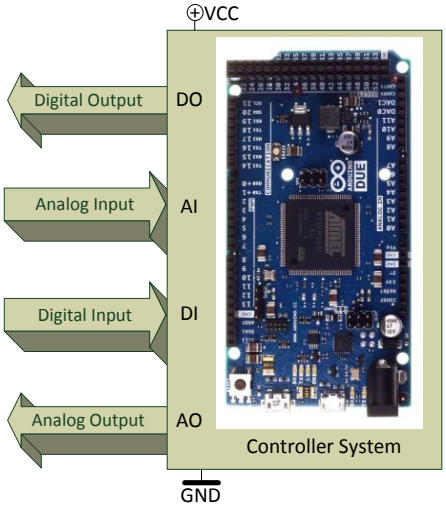
Para muchas de estas development board, existe un JTAG para depurar y controlar a bajo nivel el microcontrolador.

Descripción detallada del bloque Server-Controller System-Multiplexing matrix-Sensors-Actuators

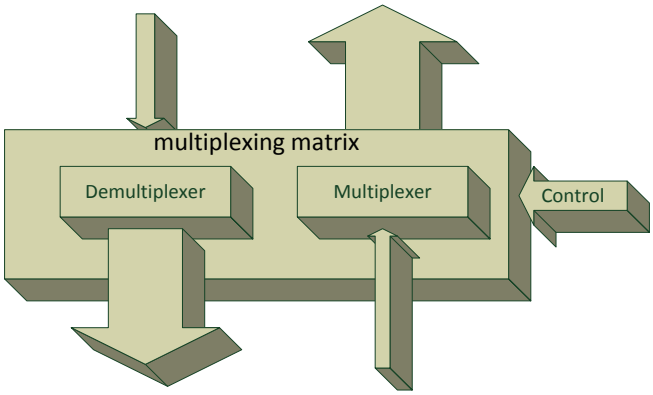
Es la parte principal del sistema remoto ya que es la que va a controlar las conexiones entre la development board y los sensors y actuators. Se emplea una matriz de multiplexación para interconectar los pines de la board al sensor o al actuator que se seleccione a través del Controller system.



El bloque Controller system está basado en un microcontrolador que tiene entradas y salidas analógicas y digitales programables. En la siguiente figura se representa el sistema microcontrolador basado en Arduino DUE.



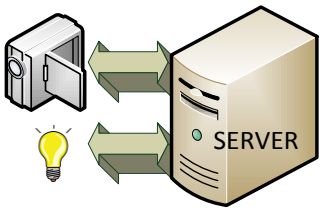
El bloque multiplexor está compuesto por multiplexores analógicos y digitales para controlar el flujo de información entre la development board y los sensors y actuators. Su diagrama de bloques interno sería el que se observa en la siguiente figura.



La señal de control selecciona el camino de interconexión entre los pines de la development board y los pines de los sensors y actuators. Según el sensor y actuador al que se conecte cada multiplexor o demultiplexor sería analógico o digital.

Descripción detallada del bloque Server-webcam-iluminación

Para que el usuario vea el escenario donde está la development board, los sensores y actuadores, se coloca una webcam que transmiten la imagen en tiempo real para realizar el seguimiento de las prácticas en el sistema. Se incorporará un foco para iluminar el escenario en el momento que se esté utilizando.



©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Sistemas conectados a la plataforma

Para resolver la conexión física entre los componentes y la plataforma, hay que determinar los elementos habituales que pueden conectar. En la siguiente tabla obtenemos las familias y algunos ejemplos:

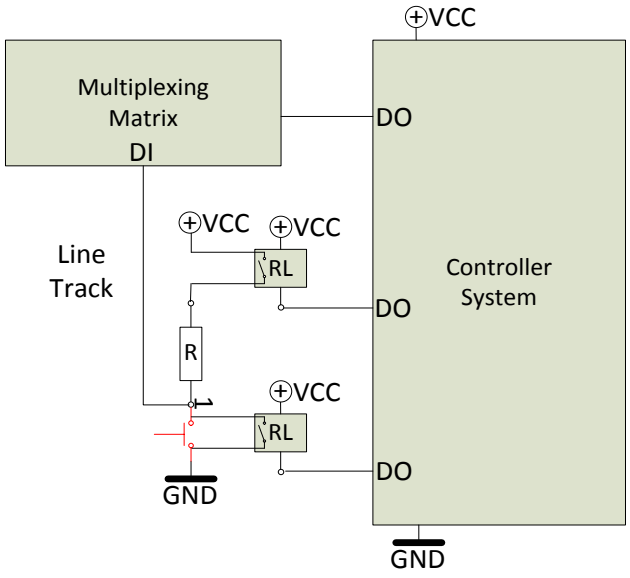
	Componente de entrada (Sensores)	Componente de salida (Actuadores)
Componente digital	Pushbutton Switch/bumper, microswitch Toggle Switch, Rotary encoder Pueden ser mapeados en memoria. Pueden activarse con Relay	LEDs, Infrared LED, RGB LED, 7 Segment Display, relays, Transistores modo digital. Pueden ser conectados directamente a los pines de la plataforma Pueden verse desde la cámara
Componente analógico	Slide/rotaty potentiometer Pueden moverse con servomotores Sensor LDR Pueden regulase con una bombilla Temperature Sensor Pueden regularse con un calentador Sensor Sharp/Sensor de ultrasonido Pueden regularse moviendo un elemento delante de ellos Flex/force sensor Pueden regularse presionando el sensor Brújula Gas sensor (CO, O3, NO) Hall sensor Transistor modo analógico	Motores de CC Controladora CC. PWM Motores PaP Controladora PaP Servos Conexión con PWM Motores Brushless Controladores Brushless. PWM Speaker, Piezo Speaker Conectados con transistores. PWM

Componente de entrada digital.

Algunos de los ejemplo serían Push button Switch, bumper, microswitch, Toggle Switch, etc. Estos elementos se pueden emular empleando JTAG de forma que se mapean en los registros y pueden ser cambiados los bits igual que lo hiciese los switchs.

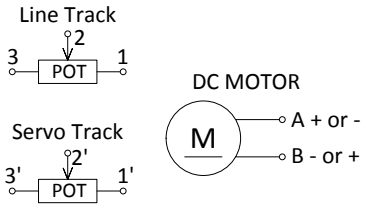
Si lo que se pretende es activar físicamente estos componentes, se empleará un relay en paralelo con el switch. El Relay estaría controlado por el Controller System y el Push button en paralelo con el relay estaría conectado a una de las entradas del Microcontroller development board mediante la Multiplexing matrix.

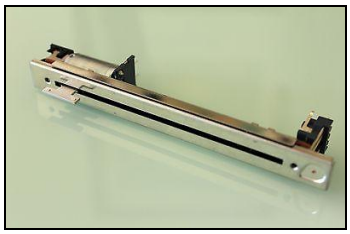
El diagrama general de interconexión sería el siguiente:



Componente de entrada analógico

Potentiometer. SlidePotMotorized





Conexión del Line track potentiometer.

- El pin 2 estará conectado a una entrada analógica de la Microcontroller development board a través de la Multiplexing matrix.
- El pin 3 estará conectado a VCC mediante un relé que servirá de activación del potentiometer a través del System Controller.
- El pin 1 estará conectado a GND.

Conexión del Servo track potentiometer.

- El pin 2’ estará conectado a una entrada analógica del System Controller para obtener la posición del potentiometer.
- El pin 3’ estará conectado a VCC mediante un relé que servirá de activación del potentiometer a través del System Controller.
- El pin 1’ estará conectado a GND.

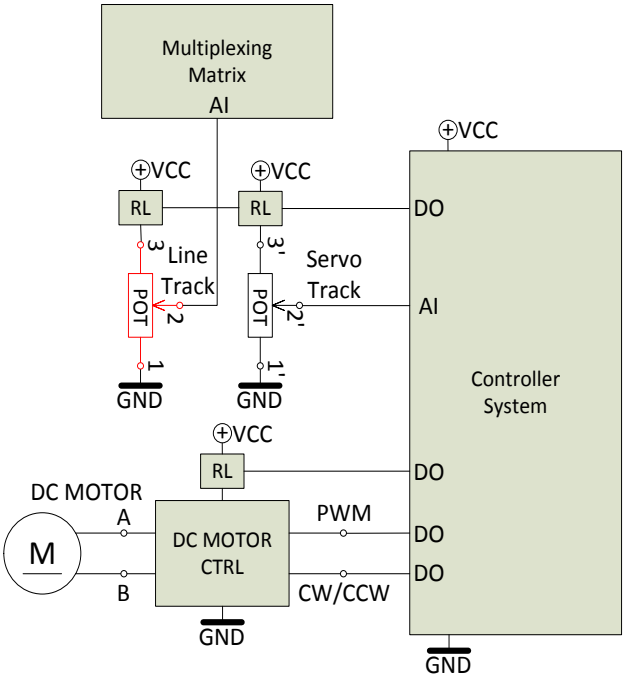
Conexión del DC Motor.

El DC Motor estará conectado a una controladora que estará gobernada por el System Controller. La controladora tendrá la señal de sentido de movimiento del DC Motor (horario, antihorario) y otra señal PWM para activar la velocidad del movimiento del DC Motor que hará que desplace los potentiometer.

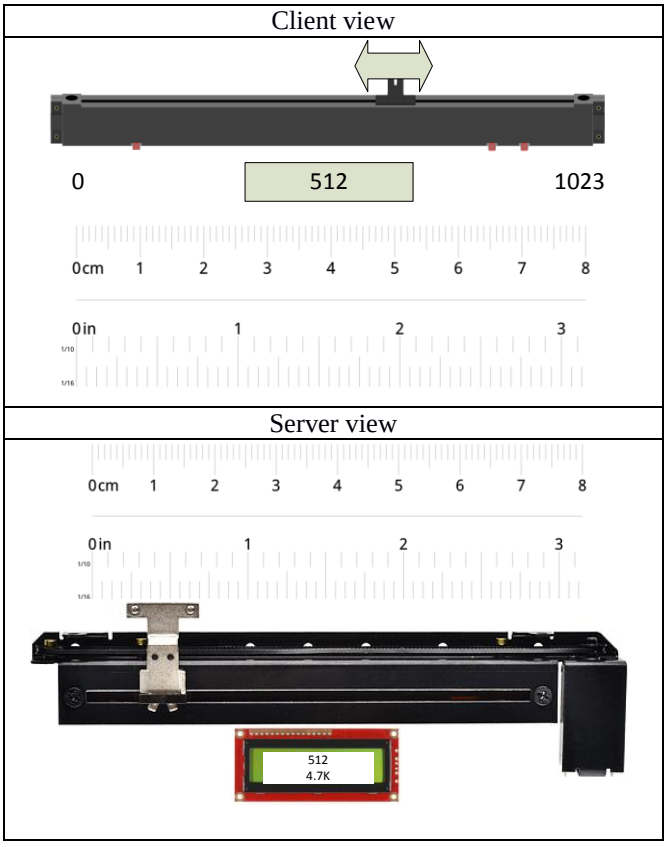
Los dos potentiometer y el DC Motor Controller se activarán o desactivarán a través de un relé accionado por el Controller System en cada caso.

El circuito resultante es el siguiente:

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués



The red potentiometer es el que se visualizará desde la cámara.



IV. CONCLUSIONES

Centrándonos en la parte técnica, se han presentado los detalles de nuestro acercamiento a un laboratorio remoto real. En el que los usuarios no trabajan con sistemas modelados virtuales, la interacción es completa e idéntica para cualquier localización dada. Esto abre un nuevo campo en la enseñanza remota de Ingeniería, permitiendo practicar con sistemas "hands-on" a cualquier persona que tenga una conexión a internet.

De la misma manera, el profesorado obtiene un ahorro extra en la preparación de los ejercicios, pudiendo replicar la temática y diseño de los mismos tanto para sus alumnos presentes como aquellos que acceden a sus clases de manera remota.

Posteriormente se expandirá esta implementación para otros sistemas más allá de la enseñanza de microcontroladores, elementos como la pulsación de un botón o el trabajo con sistemas reguladores, así lo permiten.

REFERENCIAS

[1] S. L. Mora, Universidad de Alicante, 2013. [Online]. Available: http://desarrolloweb.dlsi.ua.es/moocs/what-is-a-mooc. [Geopend 2 2015].
[2] J. F. B. B. M. A. J. L. christophe Gravier, „State of the Art About Remote Laboratories Paradigms- Foundation of ongoing mutations," 8 september 2008. [Online]. Available: https://hal-ujm.archives-ouvertes.fr/ujm-00319612. [Geopend 2 2015].
[3] NXP, „www.nxp.com/documents/user_manual," 12 March 2014. [Online]. Available: http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10562.pdf. [Geopend 4 2015].
[4] NXP, „www.nxp.com/document/data_sheet," 1 september 2014. [Online]. Available: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LPC408X_7X.pdf. [Geopend 2 2015].
[5] S. B. A. S. Rishabh Singh Kurmi, „Design of AHB Protocol Block for Advanced Microcontrollers," International Journal of Computer Applications, nr. volume 32- no.8, 2011.
[6] ARM, „AMBA 3 AHB-Lite Protocol Specification," 2001. [Online]. Available: http://nineways.co.uk/ARM_IHI0033A_AMBA_AHB-Lite_SPEC.pdf. [Geopend 4 2015].
[7] ARM, „AMBA 3 APB protocol," 2003. [Online]. Available: https://web.eecs.umich.edu/~prabal/teaching/eecs373-f11/readings/ARM_AMBA3_APB.pdf. [Geopend 4 2015].
[8] KEIL, „Keil uvision user guide," 2015.
[9] T. Bosch, „Remote lab Netwerkbeveiliging-onderliggende toepassingen en technieken," Geel, 2007.
[10] R. Njotea, „Remote Lab Netwerkbeveiliging-webapplicatie met PHP en MySQL," Geel, 2008.
[11] T. Sam, „Een op afstand programmeerbare FPGA-Ledcube - Met het Edivide," Geel, 2014.
[12] P. Orduna, „Transitive and Scalable Federation Model for Remote Laboratories," Bilbao, 2013.
[13] weblab deusto, „WebLab-Deusto 5.0 documentation," 2005. [Online]. Available: http://weblabdeusto.readthedocs.org/en/latest/index.html. [Geopend 2 2014].
[14] iLab, „the iLab Project," september 2011. [Online]. Available: https://wikis.mit.edu/confluence/display/ILAB2/Home;jsessionid=5E9F82D2782CD552155F9771B7144105. [Geopend 2 2014].
[15] R. R. K. A. S. D. Prema Nedungadi, „Virtual Labs Collaborative & Accessibility Platform (VLCAP)," Kerala, 2011.
[16] LiLa, „LiLa -Library of Labs," 12 December 2011. [Online]. Available: http://www.lila-project.org/. [Geopend 2 2014].
[17] K. Mikoluk, „XAMPP tutorial," 18 September 2013. [Online]. Available: https://blog.udemy.com/xampp-tutorial/. [Geopend 3 2014].
[18] M. Hagstrom, „Remote desktop protocols- A comparison of Spice, NX and VNC," Skovde, 2012.
[19] KEIL, „Command Line," 2013. [Online]. Available: http://www.keil.com/support/man/docs/uv4/uv4_commandline.htm. [Geopend 4 2015].
[20] B. m. C. J. C. C.C. Ko, Creating Web-based Laboratories, Londen: Springer, 2004.
[21] embeddedartists, „LPC4088 DEVELOPER'S KIT," [Online]. Available: http://www.embeddedartists.com/products/kits/lpc4088_kit.php. [Geopend 4 2015].
[22] SEGGER, „Price list J-Link related," [Online]. Available: https://www.segger.com/pricelist-j-link-related.html. [Geopend 4 2015].
[23] logithech, „Logitech HD Webcam C270," [Online]. Available: http://www.logitech.com/nl-nl/product/hd-webcam-c270. [Geopend 5 2015].

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

[24] L. G. a. J. Garcia-Zubia, Advances on remote laboratories and e-learning experiences, Bilbao: University of Deusto, 2007.
[25] P. M. a. R. L. Kevin Tatroe, Programming PHP, Sebastopol, USA: O'Reilly Media, 2013.
[26] M. David, HTML5 Designing rich internet Applications, Focal Press, 2013.
[27] embedded artist, „LPC4088 OEM board users guide," [Online]. Available: http://www.embeddedartists.com/sites/default/files/support/oem/lpc4088/LPC4088_OEM_Board_Users_Guide.pdf .
[28] O. J. Bjørkum, „phpmyreservation," 2014. [Online]. Available: https://code.google.com/p/phpmyreservation/wiki/Installation.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Página en Blanco

Capítulo 3

Adoptando el Aprendizaje Basado en Problemas para Apoyar la Educación y las Vocaciones en la Ingeniería con la Plataforma de Juegos eCity

Melisa Rodríguez Bermúdez, Manuel Caeiro Rodríguez, *Senior Member, IEEE SM*, Martín Llamas Nistal, *Senior Member, IEEE* y Carlos Vaz de Carvalho, *Member, IEEE*

***Title*— Adopting Problem-based Learning to Support Engineering Education and Vocation with the eCity Game Platform**

***Abstract*— Problem Based Learning (PBL), especially when supported by Virtual Learning Environments (VLE), has been demonstrated to successfully develop personal, social and technical competencies. This paper collects and synthesizes exemplary cases and contextualizes the use of urban simulators as a VLE to support PBL in Engineering in order to allow a precise environment specification for the eCity platform. The main objective of the eCity project was to develop a city-development simulation engine and a pedagogical methodology that stimulates the integration and continuous exploitation of PBL in Engineering Education and promotes technological vocations in secondary school students. The paper introduces some of the engineering problems considered for the eCity development and specifies the pedagogical methodology adopted.**

***Index Terms*— Project-based learning, game-based learning, serious games, engineering scenarios, pedagogical methodologies**

***Abstract*— El aprendizaje Basado en Problemas (PBL), especialmente cuando se desarrolla en entornos virtuales de aprendizaje (VLE), se ha demostrado adecuado para el desarrollo de las competencias personales, sociales y técnicas. En este trabajo se recoge y sintetiza varios casos de éxito de uso de simuladores urbanos que han sido utilizado con éxito como VLE para apoyar PBL en Ingeniería. Este estudio se ha realizado con el fin de permitir una especificación de entorno preciso para la plataforma eCity. El objetivo principal del proyecto eCity es desarrollar un motor de simulación de ciudades y desarrollar una metodología pedagógica que estimule la integración y la explotación continua de PBL en la Formación de Ingenieros así como en la promoción de vocaciones tecnológicas entre los estudiantes de secundaria. El artículo presenta algunos de los problemas de ingeniería que han sido tenidos en cuenta para el desarrollo eCity e introduce la metodología pedagógica adoptada.**

***Index Terms*— Aprendizaje basado en proyectos, aprendizaje basado en juegos, juegos serios, escenarios de ingeniería, metodologías pedagógicas**

I. Introducción

En los últimos años han crecido las críticas con respecto a la educación en ingeniería. Se ha señalado que los cursos de educación superior fallan en proveer graduados con algunas competencias críticas [1, 2, 3, 4], tales como:

- La capacidad de trabajar en equipos multidisciplinares.
- La capacidad para dirigir equipos.
- La capacidad de comunicarse de manera efectiva.
- La capacidad de retener el conocimiento importante y tener un sólido razonamiento matemático y científico.
- La capacidad de adaptarse a nuevos y diferentes problemas.
- La capacidad para analizar los problemas y encontrar soluciones mediante el uso de estrategias sólidas para resolver problemas.

Estas son las habilidades básicas y competencias que se esperan de un ingeniero profesional. Los futuros ingenieros se enfrentarán a la resolución de problemas reales por lo que es importante que estas competencias formen parte de su aprendizaje [4]. De hecho, este problema no es exclusivo para la formación en ingeniería. Uno de los objetivos del proceso de Bolonia es mejorar las competencias y habilidades de los graduados con el objetivo de aprendizaje centrado en el estudiante [5]. La estrategia Europa 2020 propone una colaboración más estrecha entre todos los

Este trabajo se presentó originalmente en la IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON 2015).

M. Rodríguez Bermúdez pertenece al Departamento de Enxeñaría Telemática, Universidade de Vigo, Lagoas-Marcosende, Vigo, 36312 Spain.

M. Caeiro Rodríguez pertenece al Departamento de Enxeñaría Telemática, Universidade de Vigo, Lagoas-Marcosende, Vigo, 36312 Spain (corresponding author to provide phone: 986.813.468; fax: 986.812.116; e-mail: manuel.caeiro@uvigo.es).

M. Llamas Nistal pertenece al Departamento de Enxeñaría Telemática, Universidade de Vigo, Lagoas-Marcosende, Vigo, 36312 Spain (e-mail: martin@det.uvigo.es).

C. Vaz de Carvalho pertenece al GILT – Graphics, Interation and Learning Technologies, Institute of Engineering, Polytechnic of Porto, Porto, Portugal (e-mail: cvc@dei.isep.ipp.pt).

Parte de este trabajo ha sido financiado por la European Commission a través del Lifelong Learning Programme, Action KA3, Project eCity, ref. 543573-LLP-1-2013-1-PT-KA3-KA3MP y por la Red 513RT0471 del CYTED, RIURE: Red Iberoamericana para la Usabilidad de Recursos Educativos (www.riure.net).

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

agentes hacia el desarrollo de la denominada innovación sostenible [6].

La enseñanza en la ingeniería también está mostrando problemas relacionados con la atracción de nuevos estudiantes. La dificultad que los estudiantes de educación secundaria tienen con la denominadas materias STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) es un problema muy extendido en Europa, según señalan varios estudios internacionales como PISA o TIMSS. Esto condiciona que los estudiantes vayan a seguir estudios técnicos, como ingeniería. Esto no es debido a la menor capacidad de estos jóvenes, sino sobre al uso de estrategias de enseñanza equivocadas. No podemos olvidar que esta generación es conocida como "generación en red" o "nativos digitales": absorben rápidamente la información en trozos más pequeños, esperan respuestas instantáneas y retroalimentación y que quieren ser activos en su aprendizaje [7].

El proyecto eCity intenta abordar estos problemas mediante el desarrollo de juegos para introducir problemas de ingeniería a los estudiantes y apoyar el desarrollo de estrategias de aprendizaje basado en problemas. Temas tales como la producción y distribución de energía, el teléfono móvil y las redes de comunicación informáticas, la contaminación, la gestión de residuos y otros similares se consideran bajo los fundamentos de un escenario de juego y un enfoque de aprendizaje basado en problemas (PBL). Los estudiantes pueden tomar decisiones relacionadas con el desarrollo de la ingeniería de las ciudades y tener la experiencia de los resultados de esas decisiones.

El objetivo del proyecto eCity es diseñar una plataforma educativa basada en un juego/simulador de construcción de ciudades y explorar una plataforma para abordar problemas de desarrollo de ingeniería en las mismas relacionados con conceptos STEM. Esta plataforma será utilizada para dos propósitos diferentes: (i) para motivar a los estudiantes de educación secundaria para considerar una trayectoria académica en ingeniería; y (ii) para apoyar el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería en educación superior. Esto ocurrirá simultáneamente cuando estudiantes de ambos niveles puedan estar involucrados en experiencias compartidas, donde los estudiantes más experimentados actúen de guía a los más jóvenes en el hallazgo de soluciones correctas.

En este artículo presentamos las bases del desarrollo de un sistema de juegos en la ingeniería denominado eCity para apoyar el desarrollo de experiencias de PBL. En primer lugar, se revisan las plataformas y entornos disponibles y las mejores prácticas de proyectos previos sobre juegos serios y PBL. A continuación, presentamos los juegos que se proponen y la metodología pedagógica que tenemos previsto aplicar. El trabajo termina con algunas conclusiones.

I. Aprendizaje Basado en Problemas

El PBL es una pedagogía educativa activa centrada en el estudiante en la que estos desarrollan sus capacidades a través de la resolución de problemas, por lo general planteados a partir de situaciones de la vida real. La ingeniería es una de las áreas en las que el PBL es una alternativa válida de aprendizaje y se dice que los beneficios para los estudiantes de ingeniería son considerables mejoras en el pensamiento crítico, lateral y creativo, habilidades de resolución de problemas, la colaboración en grupo y habilidades de comunicación. En un camino convergente, los juegos y las simulaciones se pueden utilizar para plantear problemas que implican la estimulación mental y física y desarrollar habilidades prácticas [1, 8, 9, 10, 11]. Obligan al jugador a decidir/elegir, definir prioridades, resolver problemas, etc. Hay diferentes ambientes y plataformas que pueden ser considerados para desarrollar PBL y juegos.

A. Entornos de Aprendizaje Virtual para PBL

La mayoría de los cursos y actividades de PBL todavía se basan principalmente en las actividades tradicionales cara a cara. Sin embargo, se ha sugerido que los entornos virtuales de aprendizaje (EVA) para mejorar la experiencia y eficacia del PBL [12, 13, 14, 15, 16].

Un EVA es un espacio educativo digital, con frecuencia incluyendo funcionalidades propias de la Web 2.0, en el que se facilita el desarrollo de modelos de educación convencional mediante la integración de un conjunto de conceptos virtuales equivalentes para los contenidos, conferencias, pruebas, tareas, clases, aulas y otros recursos académicos [18, 19]. Estas herramientas tienen el potencial de aumentar la comunicación entre un mayor número de usuarios [16, 17, 18, 19, 20].

B. Juegos de Simulación Urbana y Plataformas para PBL

La simulación urbana se destina a modelar el desarrollo de una zona urbana, reflejando las características más importantes que intervienen en su desarrollo. Los simuladores urbanos se utilizan en los más diversos contextos y entornos, desde la planificación urbana profesional a estudios sociológicos, o en los juegos. Hay muchas plataformas de simulación y juegos que pueden ser utilizados para abordar la gestión de las cuestiones de ingeniería urbana. Algunos de ellos ya han sido utilizados como soporte en contextos educativos, especialmente en la enseñanza de la ingeniería. Esta es una lista de los más relevantes:

- SimCity [22, 23]. SimCity es un juego de ordenador o consola de la serie de composición abierta ciudad-edificio. En SimCity, el jugador tiene la tarea de fundar y desarrollar una ciudad, ocuparse del mantenimiento de la felicidad de los ciudadanos y mantener un presupuesto estable. SimCity EDU es una versión especial de SimCity diseñada para enseñar STEM en las aulas. Los educadores son capaces de utilizar SimCity EDU con planes de lecciones virtuales y otros juegos que se adhieren a los estándares de EE.UU. básicos comunes de la enseñanza.
- EnerCities [23]. Es un juego educativo sobre energía, co-financiado por la Comisión Europea. El juego trata de fuentes de energía y el equilibrio entre las personas, el planeta y los beneficios.
- ELECTROCITY [24]. Se trata de un juego de ordenador en línea que permite a los jugadores gestionar sus propios pueblos y ciudades virtuales y también puede utilizarse para enseñar cuestiones sobre energía, sostenibilidad y gestión ambiental.
- EfficienCity [25]. Es una ciudad virtual que se propone para simular las condiciones que permiten tener

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

menores emisiones de gases de efecto invernadero, un suministro energético más seguro, facturas de electricidad y calefacción más baratas, etc.

- Energyville [26]. Es un juego de energía interactiva desarrollada por *The Economist Group*. El juego desafía a los jugadores para alimentar una ciudad virtual a través en 2030 y mantener impactos económicos, ambientales y de seguridad bajos.
- Ecoville [27]. Es un juego interactivo que implica la construcción de una comunidad de energía sostenible que está condicionada por los límites en recursos, contaminación y presupuesto.
- CityOne [28]. En CityOne, un juego de IBM, los usuarios experimentan algunos de los complejos problemas a los que se enfrentan las ciudades. Se pueden implementar cambios y entender los resultados en términos de cómo las distintas soluciones tecnológicas pueden ayudar a revolucionar la industria dentro de un municipio.
- envKids [29]. Su objetivo es sensibilizar sobre las actividades de mitigación de sostenibilidad ambiental y el cambio climático entre alumnos de educación primaria.

C. Entorno eCity

En el contexto del proyecto de simulación urbana eCity se concibe como un entorno de juego que es compatible con la configuración y la resolución de problemas y retos para ser utilizado en el contexto de PBL. Después de la revisión, teniendo en cuenta las metodologías pedagógicas y la dinámica del juego, se tomó la decisión de trabajar con Micrópolis. En esta decisión, las principales características de Micrópolis también han desempeñado un papel importante. Micropolis [30] es una parte de la versión original de SimCity. Los parámetros/reglas de simulación Micropolis incluyen:

- Factores humanos: el espacio residencial y de servicios, la disponibilidad de puestos de trabajo, y la calidad de vida.
- Factores económicos: Valor del suelo, espacio industrial y comercial, el desempleo, los mercados internos y externos, energía eléctrica, fiscales y de financiación para los servicios de la ciudad.
- Factores de Supervivencia: Estrategias para la gestión de desastres, la delincuencia y la contaminación.
- Factores políticos: La opinión pública, la zonificación, y los residentes, mantenimiento de las empresas y satisfacción con su ciudad y su rendimiento.

Las herramientas existentes ofrecen a los usuarios la capacidad de planificar, diseñar, zona, construir, demoler, volver a la zona, y administrar una ciudad.

- Plan de cartografía: los sistemas dan descripciones físicas y demográficas de toda la ciudad.
- Disposición: Diseño de áreas de trabajo, sistemas viales y de tránsito, áreas recreativas.
- Zona: Establecer los límites de zonificación para parques, residenciales, comerciales e industriales.
- Construir: Colocar las estaciones de carreteras, ferrocarriles, aeropuertos, puertos marítimos, bomberos y policía, estadios deportivos y las centrales eléctricas.
- Bulldozer: bosques claros para el crecimiento de la ciudad, construir relleno sanitario a lo largo de las vías fluviales, áreas claras y zonas de desarrollo.
- Administrar: El uso de los sistemas de mapas y gráficas, recoger al día la información sobre la densidad del tráfico, las tendencias demográficas, el estado de la red eléctrica, la contaminación, la delincuencia, el valor del suelo, la policía y la eficiencia del departamento de bomberos y el flujo de caja. Establecer los servicios de tarifas de impuestos y los niveles de financiación.

Básicamente Micrópolis es la versión creada de SimCity para OLPC, "Programa un Laptop por Niño". La Fig. 1 presenta una captura de pantalla de Micropolis. El jugador tiene que desarrollar la ciudad mediante la gestión de los recursos para construir carreteras, fábricas, viviendas, equipos de servicios públicos, etc. Cuanto mejor sea la gestión mayor será la población y la satisfacción de los ciudadanos.

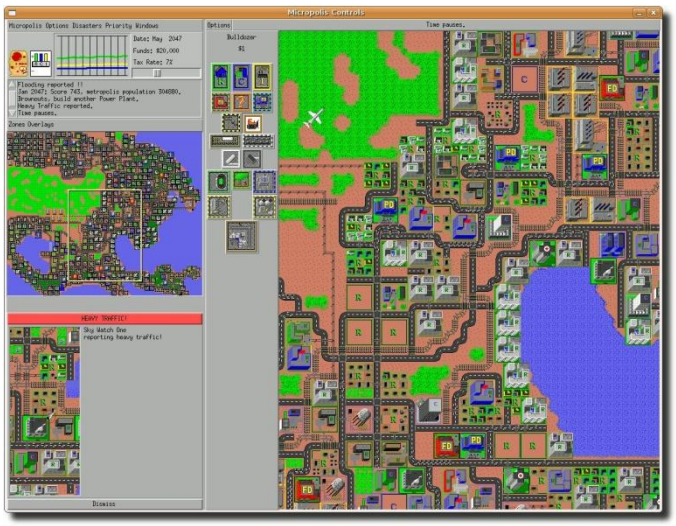


Fig. 1. Pantallazo de Micropolis, la plataforma de juegos tomada como referencia para desarrollar juegos en el proyecto eCity.

El núcleo Micrópolis ha sido reescrito con C ++/Python y el código está dividido en varios módulos. En este proyecto se utiliza el IDE Wingware Python. Existe también una versión para Android y una versión de Java, por ejemplo. Este es un proyecto de código abierto.

II. Análisis de Buenas Prácticas Relativas al Uso de Juegos en PBL y en la Educación en Ingeniería

El uso de juegos en la educación no es nuevo. Durante los últimos años conceptos como el "aprendizaje basado en el juego" y la "gamification" se han desarrollado y experimentado en diferentes contextos. Con el fin de alcanzar los objetivos del proyecto se ha realizado una búsqueda de proyectos en curso para realizar un análisis de las mejores prácticas sobre el uso de juegos en PBL e ingeniería. El principal criterio de búsqueda fue el uso de juegos con fines educativos. El análisis de los proyectos se realizó teniendo en cuenta las indicaciones propuestas por

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Squire [31] y Catalano [32]. Como resultado, se encontró que una proporción relativamente grande y variada de juegos, simuladores de juegos de la ciudad, e-salud, juegos para enseñar programación, juegos para mejorar las prácticas de enseñanza, etc. Las siguientes secciones incluyen un resumen de las mejores prácticas relacionadas con el uso de juegos en PBL y educación.

A. Nivel de Conocimiento Académico Necesario para Jugar

Una práctica posible a seguir en los juegos es el uso de los conocimientos académicos como una herramienta para lograr los objetivos. Esto significa que para jugar el usuario tendrá que tener algún conocimiento previo y, además, este conocimiento debe ser ampliado para avanzar en el juego en sí. Existe, pues, una especie de binomio diversión/conocimiento. El conocimiento se convierte en una necesidad para tener éxito en el juego, lo que motivará el aprendizaje de los estudiantes.

Por lo general, esta relación de diversión/conocimiento se refleja en la disponibilidad de varios niveles en los juegos y la necesidad de adquirir nuevos conocimientos poco a poco para ir avanzando a los niveles superiores. En algunos casos no es necesario tener un cierto conocimiento inicial, justo la curiosidad suficiente del estudiante, y el juego en sí servirá para proporcionar o promover el conocimiento.

B. Técnicas de Diseño Sofisticadas

La disponibilidad de una plataforma atractiva que cambia el proceso de aprendizaje en un proceso interesante y motivador puede mejorar la implicación y la motivación de los alumnos. Por lo tanto, el uso de técnicas de diseño sofisticado es otra buena práctica. Estas técnicas permiten proporcionar escenarios lo más cercanos posibles a la realidad, con personajes y situaciones en las que los jugadores pueden sentirse reflejados. Las cualidades gráficas deben ser altas y el sistema debe responder rápidamente a las acciones del usuario.

Si un estudiante se siente reflejado en avatares o siente que se enfrenta a situaciones comunes en su día habitual, es muy posible que se muestre más interesado en el juego.

C. Múltiples Escenarios

No todos los estudiantes tienen el mismo nivel de conocimiento o curiosidad y los juegos suelen incluir múltiples escenarios centrados en diferentes perfiles. En algunos sistemas, se puede adaptar el nivel de dificultad para el nivel académico de los estudiantes. La elección del escenario puede ser utilizado para estudiar diferentes conceptos y adaptarse a situaciones específicas. En otros casos, los jugadores pueden elegir ellos mismos el escenario del juego. A veces los usuarios pueden crear sus propios escenarios, desde cero o mediante modificación.

Se puede utilizar una amplia variedad de situaciones y escenarios para mantener altos niveles de implicación. Las etapas se pueden usar para lograr diferentes objetivos de aprendizaje. De esta manera el juego se puede volver a utilizar en distintos contextos. Los juegos también deberían incluir variedad de escenarios y elementos aleatorios que impiden la repetitividad y los flujos demasiado deterministas, de forma que los jugadores no puedan predecir o anticipar el flujo de eventos.

D. Promoción del Interés y la Creatividad de los Jugadores

Los juegos deben producir interés e inspirar la creatividad en los alumnos. Si el estudiante no está motivado el aprendizaje será más difícil. Los juegos pueden aumentar la implicación de los estudiantes para convertirse en activos. Además, pueden contribuir a mantener el interés en un nivel alto durante las sesiones de juego y más allá de este.

También es importante eliminar la carga cognitiva para mantener un alto nivel de implicación y la atención durante las diferentes etapas del juego. La disponibilidad de varios modos de navegación o la complejidad de los objetivos de aprendizaje pueden ser dificultades considerables para los jugadores que pueden verse afectados negativamente en su implicación y motivación. Los estudiantes necesitan adquirir conocimientos y aumentar el nivel de complejidad de forma gradual. En cualquier caso, es necesario el equilibrio entre la diversión y el aprendizaje/dificultad. Esto quiere decir que el juego no puede ser ni un juego divertido simple sin ningún aprendizaje, ni implicar solamente conceptos difíciles sin ningún incentivo.

En cuanto a las mejores prácticas introducidas en las secciones anteriores, el hecho de que algunos juegos permitan a los estudiantes diseñar sus propios escenarios también ayuda a desarrollar su creatividad.

E. Promoción de la Interacción Social

Esta es una oportunidad para que los estudiantes adquieran conocimientos y mejoren habilidades como relacionarse con los demás, escuchar y ser escuchados, discutir y dar opiniones, etc. Esto se logra mediante *blogs*, foros, wikis, debates en el aula, el trabajo en grupo , etc.

La comunicación en tiempo real se produce normalmente en talleres cara a cara o en conversaciones a través de la web. Sin embargo, estas opciones no son las más utilizadas. Comunicaciones asíncronas a través de correos electrónicos, blogs y wikis son más comunes. Estas herramientas reducen al mínimo los problemas asociados a las limitaciones de tiempo y espacio, derivadas de la distribución de los participantes en los diferentes países y zonas horarias.

F. Promoción del Uso de Juegos y Comunicación en Redes Sociales

Los juegos deben ser promovidos al mayor número posible de personas y lugares. Hay muchas ventajas que pueden derivarse de este esfuerzo de difusión, incluyendo mejoras en las plataformas en sí mismas, porque el aumento en el uso y alcance lo exige. Algunos mecanismos para promover el uso son organizar eventos, reuniones, competiciones, etc. Hoy, con la importancia de las redes sociales, es muy recomendable utilizarlas como una herramienta para promover el juego e incluso para jugar juegos directamente en sus sistemas. Otro aspecto interesante es que algunas herramientas están disponibles para su uso en dispositivos móviles y esto proporciona mayor alcance.

G. Multi-idioma y Multiplataforma

La disposición de un juego en varios idiomas busca romper la barrera del idioma y las dificultades asociadas con el lenguaje. También es interesante que los juegos están disponibles para múltiples plataformas aumentando de esta manera las oportunidades de uso. De los proyectos

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

estudiados la mayoría están disponibles para Windows, Linux y Mac OS X. Por otra parte, cada vez es más frecuente encontrar juegos disponibles para dispositivos móviles.

H. Desarrollo de Juegos

Dependiendo de quién y dónde estén destinados a ser utilizados, el desarrollo de juegos varía. En el caso de los estudiantes más jóvenes el esfuerzo de desarrollo se centra generalmente en la atracción y la simplicidad basada en la colaboración. En el caso de los estudiantes universitarios, el objetivo es adquirir conocimientos complejos de una manera más simple.

I. Facilitar Tareas de Aprendizaje

Otra práctica que se puede considerar es la facilitación de las tareas de aprendizaje. Esto puede ser implementado inicialmente como una fase informativa que sirve para llamar la atención de los estudiantes y explicar las normas y los objetivos a alcanzar. Durante el juego los tutores/educadores pueden proporcionar ayuda y orientación a los estudiantes. Una vez que el juego terminó se pueden organizar discusiones para consolidar el aprendizaje, o incluso la propia evaluación puede ayudar.

Muchas veces se requiere que ciertos participantes del proyecto, tales como educadores y expertos de fuera del proyecto, sean participantes para ofrecer información y orientación adecuada.

J. Evaluación

Una evaluación adecuada es clave para obtener un buen resultado en proyectos. Entre otras cosas, la evaluación proporciona información acerca de las partes más difíciles. Por el contrario, también permite identificar las partes de mayor éxito, lo que proporciona una guía para seguir el camino correcto en el desarrollo de la plataforma.

III. JUEGOS DE INGENIERÍA EN UN SIMULADOR URBANO

En las primeras etapas del proyecto los socios han estado involucrados en la propuesta y el refinamiento de un conjunto de problemas para desarrollar en el motor de simulación de eCity. No todos los problemas son adecuados para el desarrollo, ya que exigen esfuerzos considerables. Por lo tanto, con el fin de proporcionar una solución reutilizable y sostenible, se propuso una colección de problemas que compartan una estructura común en general con el objetivo principal y con la que cubrir muchos campos en ingeniería. La siguiente sección presenta un problema de ejemplo para mostrar la estructura general. La lista completa de los problemas se muestra en la sección siguiente.

A. Problema de Conectividad Móvil

El objetivo de aprendizaje de este juego es proporcionar una visión de cómo funciona una red de telefonía móvil. Los estudiantes usarán el juego para desplegar los diferentes elementos que componen una red móvil en un mapa. La aplicación debe mostrar el área de cobertura.

El juego se presenta como un primer contacto con los conceptos básicos del diseño de la Red de Telefonía Móvil (RTM). Dentro de la complejidad de la infraestructura de las redes móviles, la RTM permite ciertas abstracciones. Los estudiantes tendrán que seleccionar el tipo de agrupación y elementos de hardware (solamente antenas para simplificar) que forman cada célula (área de cobertura). En general, van a aprender acerca de los conceptos de células, la distribución de células, etc. En la figura 2 podemos ver un ejemplo de células. De esta manera, los estudiantes tendrán la oportunidad de aprender sobre el despliegue de la RTM teniendo en cuenta cómo impacta sobre el servicio prestado y el presupuesto de la empresa, y sobre la sostenibilidad de la RTM con el tiempo.

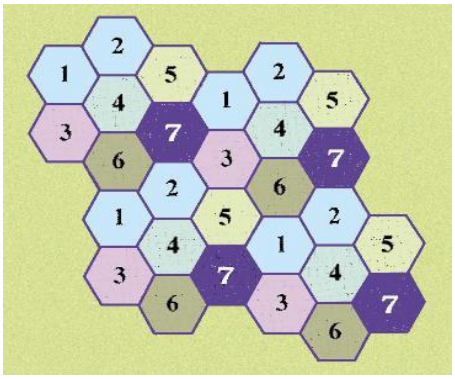


Fig. 2. Distribución de clústers en una RTM

El modo de juego sólo requerirá la capacidad de apuntar y hacer clic, y un cierto conocimiento matemático (es decir, la estimación de los costos de equipos). Los estudiantes sólo tendrán que probar cosas y comprobar lo que sucede. Se pueden dar más explicaciones después de que el juego se juega, respondiendo a las preguntas de los estudiantes. Los profesores pueden explicar cómo los obstáculos afectan al área de cobertura, por ejemplo. También puede ser interesante tener conocimiento de la física para entender el comportamiento de las antenas en los diferentes escenarios. Una descripción simple juego podría ser:

- Los estudiantes tendrán que decidir el tipo de clúster para la ciudad (K), con un tamaño determinado. Después, tendrán que decidir el radio de la célula (R). Automáticamente, la ciudad dada será cubierta por conglomerados, con las características K y R elegidas.
- Cada grupo tendrá una población y este valor será determinado por el juego. Además, el número de canales por grupo (N) será un valor dado. Cada celda tendrá N/K canales disponibles.
- Con toda esta información, en cada una de las células el estudiante debe colocar las antenas necesarias. Cuando una célula tiene una antena, el color de esta zona cambia para mostrar un indicador de cobertura.
- Para calcular las ganancias vamos a suponer que un porcentaje de la población (X%) realiza una llamada durante la hora punta. Estas llamadas tendrán una duración media, por ejemplo Z minutos. Cada grupo tendrá una probabilidad de bloqueo, Pb. Los beneficios se obtienen utilizando una fórmula específica.

B. Otros Problemas eCity

Otros juegos que se han propuesto para el desarrollo en eCity siguen un enfoque similar:

- ISP: Internet Service Provider. El juego se presenta como un primer contacto con los conceptos básicos del diseño de redes y proveedores de servicios de Internet

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

(ISP). Proporciona una visión general de cómo funciona una red de comunicación informática. Los estudiantes están obligados a desplegar la red utilizando algunos elementos disponibles tratando de proporcionar una cierta calidad de servicio, manteniendo un bajo costo. Dentro de la complejidad de la infraestructura de los ISP, el juego incluye ciertas abstracciones para simplificarlo.

- Granja eólica. Los estudiantes dispondrán de un escenario de una ciudad con unos pocos miles de habitantes. Las centrales actuales de producción de energía deben ser reemplazadas en cinco años por parques eólicos de forma que la contaminación se reduzca a niveles aceptables. Los estudiantes deben elegir la mejor ubicación para los parques eólicos que asegure la solución más rentable. Un presupuesto ajustado implica que la mejor solución debe ser elegida pues de lo contrario el jugador no tendrá suficiente dinero para instalar nuevas centrales eléctricas. La limitación presupuestaria implica que sólo un parque eólico puede ser creado por año.
- Señales de tráfico. Cambiar o mejorar las señales/luces actuales para toda la ciudad, pero sobre todo para el viaje más frecuente de los usuarios en automóvil. El objetivo es reducir su tiempo de desplazamiento al trabajo de 5 minutos a menos de 2 minutos (el jugador será capaz de simularlo en el propio vehículo). La misión es doble, tanto en la mejora de la situación general como en las necesidades propias del jugador.
- Protección contra terremotos. Los estudiantes tendrán un mapa que incluye tres tipos de suelo diferentes. Las zonas tienen diferentes precios por lo que el estudiante elegirá la zona, el tipo de construcción y plantas. La elección correcta del tipo de suelo no será suficiente para construir edificios fuertes, ya que tendrán que utilizar el presupuesto con eficacia y seleccionar el tipo de construcción, número de pisos correctamente, dar viviendas al mayor número de personas posible y aumentar la población en general. A medida que la población aumenta también crearán hospitales, escuelas, industrias, zonas comerciales, etc. Sus decisiones sobre la economía afectarán al presupuesto. Con más presupuesto serán capaces de mejorar las protecciones para la ciudad. Los estudiantes aprenderán los principales tipos de suelos, construcción de estructuras y tendrán conciencia sobre la protección contra terremotos y el uso eficaz del presupuesto.
- Prevención de inundaciones. El escenario comienza con una ciudad media de ocupación del terreno, la mayoría cerca de un río o el mar. La otra mitad del terreno es montañoso y difícil de construir. El jugador es informado sobre la alta probabilidad de inundaciones periódicas. Se le pide al jugador que desarrolle aún más la ciudad en cuanto a población y condiciones, hasta un valor preestablecido. El jugador entonces tiene que decidir sobre la mejor estrategia para crear nuevas zonas de viviendas, teniendo en cuenta la prevención de inundaciones. El juego busca algunos objetivos de aprendizaje: entender el impacto de las inundaciones periódicas en una ciudad, la planificación de una estrategia de reubicación de viviendas para minimizar los daños en la ocurrencia de una inundación, mientras realiza la gestión presupuestaria atendiendo a las limitaciones, etc.
- Control de polución. La ciudad tiene un gran problema de contaminación. Los jugadores deben identificar las causas de la contaminación y encontrar estrategias para minimizar ese problema. Hay dos posibilidades. En la primera, los estudiantes cuentan con un escenario ciudad construida con un índice muy alto de contaminación. Deben identificar las fuentes de contaminación y encontrar las mejores alternativas con el presupuesto dado. El tamaño de la ciudad debe ser igual o mayor al final. En la segunda opción, los estudiantes se les da un escenario en blanco. Deben desarrollar su ciudad por un tiempo determinado con un objetivo e determinado tamaño y seleccionar las mejores opciones en términos de contaminación.
- Distribución de energía. Todos los elementos de la ciudad deben ser alimentados correctamente de una manera eficaz. El motor de simulación tiene diferentes centrales eléctricas, plantas y líneas de distribución con diferentes precios. Los jugadores deben asegurar que no habrá interrupciones de distribución utilizando conexiones redundantes. También existe la posibilidad de cambiar los requisitos de energía en términos de horas y eventos. Por ejemplo: áreas comerciales e industriales requieren más energía durante los días laborables. En el escenario se puede incluir el problema de la contaminación producida por las centrales eléctricas.

IV. Definición de la Metodología Pedagógica

El proyecto eCity está interesado en la adopción de una metodología pedagógica innovadora basada en PBL que apoye el proceso de aprendizaje, tanto en la ingeniería a nivel superior como en las escuelas de educación secundaria y de formación profesional. La metodología se centra en dos enfoques diferentes pero complementarios:

- Los estudiantes de ingeniería por sí mismos desarrollarán nuevos retos y problemas. De esta manera se estarán aplicando directamente los conceptos aprendidos en educación superior.
- Resolviendo el conjunto de desafíos desarrollados en la plataforma más los nuevos aportados por otros estudiantes (en secundaria y formación profesional). De esta manera se promueve el aprendizaje en ingeniería de y se desarrollan otras habilidades como el liderazgo, el trabajo en grupo y la colaboración.

La metodología pedagógica tiene algunas características importantes. Uno de ellos es la motivación. En este caso, en las escuelas de secundaria y de formación profesional, la plataforma eCity será una actividad complementaria para los estudiantes que les permita desarrollar sus intereses y motivación hacia la ingeniería. Otras características son que la plataforma eCity debe ser multidisciplinar, es decir, tiene que ser útil para diferentes áreas de ingeniería. Por otra parte, la plataforma debe facilitar la colaboración entre los estudiantes de educación secundaria y superior.

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Si hablamos de los problemas, tenemos que desarrollarlos teniendo en cuenta algunas características particulares. Los problemas se deben poder configurar y personalizar por los profesores para cuestiones específicas o incluso para representar situaciones reales de los territorios. Al mismo tiempo, los usuarios deben ser capaces de crear nuevos problemas. Por otra parte, eCity permitirá que los estudiantes de diferentes países trabajen juntos en un problema.

Para promover una sana competencia, el sistema puede incluir puntos de reputación para la resolución de problemas que permite el establecimiento de clasificaciones. Por último, los problemas o desafíos se pueden introducir en la plataforma como tarea, trabajo en equipo, actividades curriculares, competiciones extraescolares, proyectos grandes o pequeños, etc.

V. Conclusiones y Trabajos Futuros

Hoy en día, las características y las competencias de los alumnos como nativos digitales y la disponibilidad de las tecnologías de la información y la comunicación nos llevan a considerar que los objetivos del Proyecto eCity están bien alineados para motivar a las nuevas generaciones y despertar su interés por la ingeniería. Sin embargo, también es cierto que los alumnos en general no están bien preparados ni dispuestos a estudiar ingeniería, en especial la mujeres. En este trabajo se han introducido las ideas iniciales y pasos hacia el desarrollo de juegos para apoyar la enseñanza de la ingeniería. El escenario de la ciudad o urbano ha sido adoptado debido a que la disponibilidad de múltiples plataformas, la popularidad de estos juegos y las posibilidades para involucrar a los jugadores en temas relacionados con la ingeniería. En cualquier caso, la plataforma eCity y los juegos no son lo importante de verdad. El objetivo principal es el aprendizaje.

En el momento de escribir el artículo eCity estaba en desarrollo. Microprolis había sido seleccionado como la plataforma subyacente tras una amplia revisión de las tecnologías disponibles. Se habían identificado los problemas de ingeniería, analizado y descrito con el fin de ser implementados en la plataforma de juego. Los principales criterios para seleccionar los juegos han sido trabajar con un solo tipo de juegos, centrándose los esfuerzos, mientras que se busca una amplia variedad de los temas tratados.

En el momento de escribir la nueva versión de este artículo el proyecto eCity ya ha terminado. La plataforma final ha sido desarrollada con el entorno para desarrollo de juegos Unity y los escenarios propuestos se encuentran desarrollados en su totalidad. En la web del proyecto http://ecity-project.eu/es/ pueden encontrarse la plataforma de juegos disponible para plataformas Windows, Linux e IOS, así como guías pedagógicas para el desarrollo de escenarios destinadas a los profesores.

VI. Referencias

[1] TREE, “Teaching and Research in Engineering in Europe Special, ‘Problem based learning.’”2007.

[2] D. Xiangyum and A. Stojcevski, “‘Educational innovation-problem-project-practice approaches in engineering education.’”1st Ibero-American Symposium on Project Approaches for Engineering Education - PAEE2009, Braga, Portugal, 2009.

[3] W. Becker, “Why don’t young people want to become engineers? Rational reasons for disappointing decisions,” *European Journal of Engineering Education 35*, vol. no. 4, 2010.

[4] A. Kolmos, “Reflections on project work and problem-based learning,” *European Journal of Engineering Education 21*, vol. no. 2, pp. 141–148, 1996.

[5] “‘Communiqué of the conference of european ministers responsible for higher education, leuven and louvain-la-neuve.’”2009.

[6] E. C. D. E. U. C.2, “Fourth european forum on cooperation between higher education and the business community university-business cooperation: A strategic partnership to deliver europe 2020.” 2011.

[7] R. Ovelar, M. Benito, and J. Romo, “Nativos digitales y aprendizaje: Una aproximación a la evolución de este concepto.,” *Revista ICONO14 No. 12*, pp. 31–53, 2009.

[8] R. Felder, D. Woods,J. Stice,A. Rugacia, “The future of engineering education ii. Teaching methods that work,” *Chemical Engineering Education 34*, vol. no. 1, 2000.

[9] A. Kolmos, O.Vinther, P. Andersson, L. Malmi, M. Fuglem, “Faculty development in nordic engineering education, Aalborg University Press.” 2004.

[10] D. Woods, “Problem based learning: How to get the most from pbl, McMaster University.” 1994.

[11] A. Kolmos, “‘New trends in engineering education: Mega projects and globalization’, Proceedings of the 1st EUCEET Association Conference, Patras, Greece,” 2011.

[12] W. Watson and J. Fang, “Pbl as a framework for implementing video games in the classroom,” *International Journal of Game-Based Learning 2*, vol. no. 4, 2012.

[13] N. Kamoun, M. Bousmah. and A. Aqqal, “Virtual environment En línea for the project based learning session, Cyber Journals: Multidisciplinary Journals in Science and Technology, Journal of Selected Areas in Software Engineering (JSSE) January Edition.” 2011.

[14] M. Savin-Baden and K. Wilkie, “Problem-based learning En línea, Open University Press.” 2006.

[15] H. Pereira and G. Pinto, “‘Problem-based learning method simulation by virtual environment’, IADIS International Conference WWW/Internet, Madrid, Spain.”2004.

[16] M. Khalifa and R. Lam, “Web-based learning: Effects on learning process and outcome,” *IEEE Transactions on Education 45*, vol. no. 4, pp. 350–356, 2002.

[17] VLEs4VET, “Reflecting on the implementation of the virtual learning environments in education across europe.” 2011.

[18] W. Pot, “‘Means to improve social interaction in virtual learning environments’, 1st Twente Caput & Referaat Conference, Enschede, Netherlands.”2004.

[19] Y. Miao, M. Fleschutz, and P. Zentel, “‘Learning contexts to support communities of practice,’” *Proceedings of CSCL*, pp. 391–397, 1999.

[20] P. Sancho, R. Fuentes, P. Gómez-Martín, and B. Fernández-Manjón, “Applying multiplayer role based learning in engineering education: Three case studies to analyze the impact on students’ performance,” *International Journal of Engineering Education 25*, vol. no. 4, pp. 665–679, 2009.

[21] SimCity, “SimCity Official Website.” [En línea]. Disponible: http://www.simcity.com/. [Accedido: 02-Jul-2014].

[22] SimCityEdu, “SimCityEdu.” [En línea]. Disponible: http://www.simcityedu.org/.

[23] EnerCities, “EnerCities.” [En línea]. Disponible: http://www.enercities.eu/.

[24] ElectroCity, “ElectroCity.” [En línea]. Disponible: http://www.electrocity.co.nz/.

[25] EfficienCity, “EfficienCity.” [En línea]. Disponible: http://www.greenpeace.org.uk/efficiencity/.

[26] EnergyVille, “EnergyVille.” [En línea]. Disponible: http://www.energyville.com/.

[27] EcoVille, “EcoVille.” [En línea]. Disponible: http://www.ecovillelejeu.com/GB/.

[28] IBM, “CityOne-INNOV8.” [En línea]. Disponible: http://www-01.ibm.com/software/solutions/soa/innov8/cityone/index.jsp.

[29] EnvKids, “EnvKids.” [En línea]. Disponible: http://ohmpro.org/envkids/.

[30] Micropolis, “Micropolis.” [En línea]. Disponible: https://code.google.com/p/micropolis/.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

[31] K. Squire, *Video Games and Learning: Teaching and Participatory Culture in the Digital Age*. 2011, p. 253.

[32] C. E. Catalano, A. M. Luccini, and M. Mortara, "Best Practices for an Effective Desing and Evaluation of Serious Games," *International Journal of Serious Games*, vol. 1, 2014.

Melisa Rodríguez Bermúdez es Ingeniera de Telecomunicación (2014) por la Universidade de Vigo. Actualmente se encuentra trabajando en la empresa Imatia, pero durante el desarrollo del proyecto ha estado vinculada como investigadora al Departamento de Ingeniería Telemática de la Universidade de Vigo. (e-mail: melisarbermudez@gmail.com)

Manuel Caeiro (M'06-SM'10) es Ingeniero de Telecomunicación (1999) y Doctor Ingeniero de Telecomunicación (2007) por la Universidad de Vigo. Actualmente es Profesor Contratado Doctor en el Departamento de Ingeniería Telemática de la Universidad de Vigo, impartiendo asignaturas relacionadas con la ingeniería del software y la programación de ordenadores. Su interés investigador se centra en la aplicación de las TIC a la educación, en especial en el marco de los lenguajes de modelado educativo. Manuel es miembro del capítulo español de la Sociedad de Educación del IEEE con el que colabora activamente en la realización de publicaciones y eventos. (e-mail: mcaeiro@det.uvigo.es)

Martín Llamas Nistal (M'92–SM'06) es Ingeniero y Doctor Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid, España (1986 y 1994 respectivamente). Es autor o coautor de más de 200 artículos en revistas internacionales y conferencias internacionales. Ha dirigido varios proyectos de investigación tanto a nivel nacional como internacional en los campos de telemática y aprendizaje electrónico. Es coordinador de la red RIURE del CYTED (riure.net) y Vicepresidente de Publicaciones de la Sociedad de Educación del IEEE. (e-mail: martin@det.uvigo.es)

Carlos Vaz de Carvalho tiene un grado de Master en Electrical and Computer Engineering por la Faculty of Engineering de la University of Porto y un Ph.D. en Information Systems and Technology por la School of Engineering of the University of Minho. Ha sido Professor durante los últimos 22 años en el Computer Engineering Department del Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), la School of Engineering de la Porto Polytechnic. Scientifically, e investigador en el INESC (Group on Computer Graphics), una organización privada de I+D, entre1988 y1996. Desde ese momento desarrolló su carrera en el campo del e-Learning, en el ISEP donde en estos momentos es Director del Group GILT (Graphics, Interaction and Learning Technologies) de I+D. (e-mail: cvc@dei.isep.ipp.pt)

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Capítulo 4

Usando un SPOC para Darle la Vuelta al Aula

Gonzalo Martínez-Muñoz y Estrella Pulido

***Title*— Using a SPOC to Flip the Classroom.**

***Abstract*— The benefits of using SPOC platforms into face-to-face education are yet to be completely analysed. In this work we propose to use SPOCs and video contents to flip the classroom. The objective is to improve the involvement and satisfaction of students with the course, to reduce the drop-out rates and to improve the face-to-face course success rate. We apply these ideas to an undergraduate first year course on Data Structures and Algorithms. The study is validated by collecting data from two consecutive editions of the course, one in which the flipped classroom model and videos were used and other in which they were not.The gathered data included online data about the students' interaction with the SPOC materials and offline data collected during lectures and exams. In the edition where the SPOC materials were available, we have observed a correlation between the students' final marks and their percentage rate of video accesses with respect to the total number of accesses, which indicates a better academic performance for students who prefer videos over documents.**

***Index Terms*— MOOC, SPOC, flipped classroom, learning analytics**

***Resumen*— Los beneficios de usar plataformas SPOC en la educación presencial no han sido completamente analizados todavía. En este trabajo proponemos usar SPOCs y videos para darle la vuelta al aula. El objetivo es mejorar la participación y satisfacción de los estudiantes con la asignatura, reducir las tasas de abandono y mejorar el rendimiento. Aplicamos estas ideas a una asignatura de primer curso sobre Estructuras de Datos y Algoritmos. El estudio se validó con datos recogidos de dos ediciones consecutivas de la asignatura, una en la que se usaron videos y el modelo de clase invertida o "flipped classroom", y otra más tradicional en la que no se usó este modelo. Los datos recogidos incluyen datos online sobre la interacción de los estudiantes con los materiales del SPOC y datos offline recogidos durante las clases presenciales y los exámenes. En la edición donde se ofrecían los materiales del SPOC hemos observado una correlación entre las calificaciones finales obtenidas por los estudiantes y el ratio de accesos a videos con respecto al número total de accesos a cualquier tipo de material, lo que indica un mejor rendimiento académico de los estudiantes que prefieren vídeos antes que documentos.**

***Index Terms*— MOOC; SPOC; clase invertida; analítica de aprendizaje**

Este artículo se presentó originalmente en la IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON 2015).

Gonzalo Martínez-Muñoz y Estrella Pulido pertenencen a la Escuela Politécnica Superior, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España, (email: gonzalo.martinez@uam.es y estrella.pulido@uam.es)

I. Introducción

EXISTE una cierta controversia sobre el uso de MOOCs en educación. Algunos autores [1] argumentan que son solo una forma de abaratar costes y no solucionan las desventajas de las clases presenciales tradicionales. Otros afirman que la mayoría de los MOOCs disponibles son simplemente una clase tradicional dividida en trozos pequeños en formato video a los que se añade algunaspruebas de autoevaluación [2]. Este tipo de MOOC donde un curso existente se transfiere a un formato online se conoce como transferMOOC o, en general, xMOOC [3, 4].

Pero no todos los MOOCs intentan imitar a los cursos online tradicionales. Los MOOCs conectivistas o cMOOCspromueven un aprendizaje más creativo y menos centrado en el profesor donde se da especial relevancia a la interacción entre los estudiantes [5]. Fini [6] lleva a cabo un estudio sobre estudiantes matriculados en el curso CCK08 sobre Conectivismo y Conocimiento Conectivo [7] que se centra principalmente en evaluar las herramientas tecnológicas concretas utilizadas en el curso.

Cuando se usa un MOOC localmente como apoyo para una clase presencial, lo llamamos SPOC o Small Private Online Course [8]. Este artículo describe un estudio experimental que pretende comprobar la hipótesis de que los SPOCs pueden ser herramientas muy útiles en la enseñanza presencial y pueden tener valor pedagógico. El objetivo fundamental del estudio es medir el rendimiento de los estudiantes en un modelo de clase invertida donde se usa un SPOC como apoyo para las clases presenciales en comparación con un modelo tradicional basado en lecciones magistrales.

En nuestra experiencia, entre los estudiantes de primer curso de ingeniería existe un alto índice de abandono y una gran falta de motivación. En algunos casos esto es debido a que los estudiantes no encuentran las clases atractivas o interesantes, pero la razón principal es que la motivación disminuye según aumenta la complejidad de los contenidos así como a la falta de feedback que reciben los estudiantes sobre su rendimiento.

Se han publicado diversos estudios que demuestran que los estudiantes se benefician del uso de videos online [9, 10]. En [9], los autores demuestran que la satisfacción de los estudiantes con los videos elaborados por los profesores fue altamente positiva para los cursos online y presenciales. El elementopresencial de los videos elaborados por los profesores era un factor clave en la implicación de los estudiantes que se sentían más conectados con el profesor. En el trabajo de Brecht [10], los autores estudiaron el valor de las clases grabadas en video como un complemento de las clases presenciales. Se pueden obtener dos conclusiones de este estudio. La primera es que la combinación de videos con gráficos y sonido fue el diseño más efectivo y la

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

segunda que se observó una disminución de la tasa de abandono cuando se utilizaron videos.

Otro estudio llevado a cabo en el MIT demostró que los estudiantes prefieren los dibujos hechos a mano por el profesor mientras da clase a las presentaciones en PowerPoint [11]. Por esta razón, en el SPOC presentado en este trabajo se usan numerosas representaciones gráficas y animaciones para describir las operaciones que se llevan a cabo sobre las estructuras de datos y los algoritmos.

El uso de SPOCs en educación ofrece diversas ventajas a los estudiantes. En primer lugar, las clases grabadas en video proporcionan a los estudiantes una mayor flexibilidad. Pueden ver su contenido a su propio ritmo y revisitarlas tantas veces como lo deseen con anterioridad a las clases presenciales, para revisar conceptos complejos o para preparar el examen. Resolviendo las pruebas de evaluación que aparecen después de los vídeos, los estudiantes pueden comprobar si han asimilado los conceptos presentados. Una ventaja adicional para los estudiantes es que hoy en día los videos son un medio natural para ellos ya que están acostumbrados a consumir información online.

Este nuevo modelo presenta varios beneficios también para los profesores porque el uso de contenidos online les permite utilizar un modelo de clase invertida. Mediante este modelo los profesores pueden evaluar mejor cómo los estudiantes están siguiendo un tema y proponerles tareas que permitan evaluar de forma activa las destrezas adquiridas.

En este contexto, el primer hito de nuestro proyecto fue transformar los materiales docentes tradicionales de una asignatura sobre Estructuras de Datos y Algoritmos en un SPOC que pudiera utilizarse como herramienta de aprendizaje complementaria en un curso presencial. Los contenidos online constituían el punto de partida para las distintas actividades colaborativas que se llevaban a cabo durante las sesiones presenciales. Además, los datos sobre las interacciones de los estudiantes se recogieron y analizaron para comprobar si el modelo propuesto contribuye a incrementar la motivación y el rendimiento de los estudiantes así como a reducir la tasa de abandono.

Los contenidos de la asignatura se dividen en pequeñas unidades conceptuales y se utilizan uno o dos videos cortos para presentar cada unidad. Pensamos que es importante limitar la longitud de los videos ya que los videos cortos suponen un menor esfuerzo para los estudiantes y les permiten localizar con facilidad el video que quieren ver o revisar.

Consideramos que combinando un modelo de aprendizaje basado en SPOCs con uno presencial tradicional es posible ayudar a los estudiantes a obtener una mayor implicación con la asignatura y una participación más activa en las clases. También mejora la asistencia, el rendimiento académico y el nivel de satisfacción y disminuye la tasa de abandono. Para validar nuestra hipótesis, se recogieron datos sobre las interacciones de los estudiantes con el SPOC así como información sobre el rendimiento de los estudiantes y sobre su nivel de satisfacción con la asignatura. Estos datos fueron analizados y se correlacionaron las diferentes dimensiones. Finalmente, y con el objetivo de evaluar el impacto de estas nuevas tecnologías, se compararon estos datos con los de estudiantes que siguieron la misma asignatura pero en un formato presencial tradicional.

El resto del artículo está organizado de la siguiente forma: la Sección II describe el diseño del SPOC y los materiales online.La Sección III presenta cómo se integra el uso del SPOC con las clases presenciales. Los detalles sobre el estudio experimental y los resultados obtenidos aparecen en las Secciones IV y V, respectivamente. Finalmente, se resumen las conclusiones de esta investigación en la Sección VI.

II. Descripción del SPOC

El SPOC presentado es un curso sobre Estructuras de Datos y Algoritmos cuyos contenidos se adquieren por estudiantes matriculados en diferentes asignaturas del Grado en Ingeniería Informática, del Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación así como del Doble Grado en Informática y Matemáticas ofertados en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Autónoma de Madrid.En general este SPOC puede utilizarse con estudiantes matriculados en cualquier Ingeniería relacionada con Informática, Telecomunicaciones o Ciencias en las que se requiera el uso de herramientas de programación.

El objetivo de la asignatura es proporcionar conocimientos básicos sobre la especificación, implementación y uso de tipos abstractos de datos e iniciar a los estudiantes en los fundamentos del diseño, análisis e implementación de algoritmos. En particular, el curso explica conceptos relacionados con la estructura de datos Pila, los algoritmos de ordenación y el análisis de complejidad de algoritmos.

El curso incluye diferentes tipos de material didáctico:

- Videos cortos (8 min. de media) que integran presentaciones y animaciones junto con la voz del profesor y sus interacciones con la presentación. Para estas interacciones se utilizan “callouts” o llamadas para centrar la atención del estudiante sobre los conceptos relevantes. La Figura 1 muestra algunas capturas de pantalla de uno de los videos sobre la estructura de datos Pila. Los videos cubren aproximadamente la mitad de los contenidos del curso.
- Documentos en formato pdf, parte de los cuales tienen correspondencia con los videos.
- Preguntas de autoevaluación. Los estudiantes pueden contestar estas preguntas y recibir realimentación sobre sus respuestas. Esto permite a los estudiantes saber si han entendido correctamente los conceptos presentados y si son capaces de aplicarlos de forma autónoma.
- Pruebas de evaluación online y presenciales que los estudiantes deben resolver al final de cada sección.

Como se describe en la sección del estudio experimental, queremos recopilar datos sobre la interacción de los estudiantes con el SPOC y aplicar métodos de análisis del aprendizaje [12] a los datos recogidos.

III. Uso del SPOC en una Clase Invertida

La duración del curso es de 15 semanas con tres horas por semana divididas en dos sesiones de dos horas y una hora en diferentes días de la semana. El modelo de clase invertida se usa en la sesión de dos horas que se organiza de la siguiente forma. Se pide a los estudiantes que revisen los materiales del SPOC antes de la clase. Durante la primera hora, el profesor comprueba de una forma interactiva que los estudiantes han entendido los conceptos presentados en el material y explica una tarea que requiere que los estudiantes apliquen dichos conceptos. Los estudiantes trabajan en la tarea asignada durante una hora. Durante este tiempo, el profesor les ayuda resolviendo dudas y

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

clarificando los conceptos más complejos. Finalmente, en la última media hora, los estudiantes hacen una presentación de la tarea o realizan un pequeño examen sobre los conceptos más relevantes.

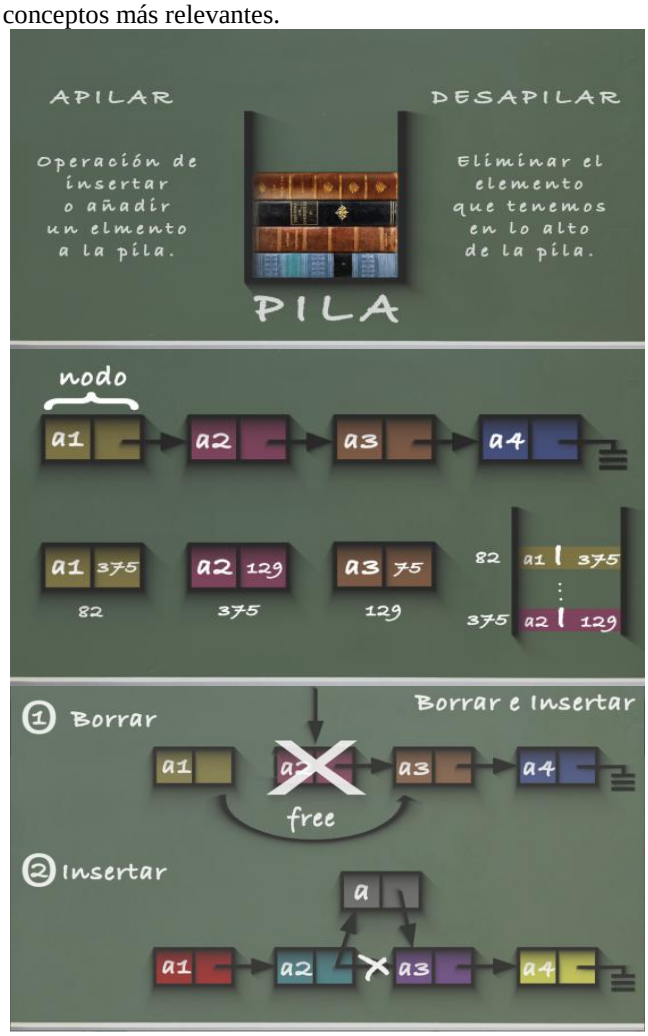


Fig. 1. Capturas de algunos de los vídeos.

Los estudiantes pueden trabajar sobre los materiales del SPOC (videos, ejercicios y pruebas de evaluación) en cualquier momento y lugar: en casa, en clase o en el laboratorio. El uso es también múltiple: pueden usar los materiales para aprender nuevos conceptos, revisar puntos difíciles cuando trabajan en la tarea práctica o para preparar el examen.

El uso de elementos SPOC en la educación presencial presenta varias ventajas. La primera es que los materiales del SPOC son más visuales que los tradicionales. Esto los hace más atractivos para los estudiantes y mucho más fáciles de entender y memorizar que los materiales textuales [10][13].

En segundo lugar, los estudiantes pueden absorber los conceptos a su propio ritmo ya que pueden revisar los materiales cuando les resulta más adecuado y tantas veces como necesitan. Además, pueden usarlos para preparar las clases presenciales con antelación.

Una ventaja adicional es que el modelo de clase cambia completamente: de un modelo en el que el profesor juega el papel activo de comunicador de información y el estudiante es un receptor pasivo, a otro completamente diferente en el que el estudiante juega el papel protagonista y el profesor se limita a acompañarle y ayudarle en su proceso de aprendizaje. El modelo de aprendizaje evoluciona de uno en el que el objetivo es aprender conceptos a otro en el que lo importante es aprender cómo se realizan tareas aplicando esos conceptos. Se trata de un nuevo modelo basado en la adquisición de competencias frente al modelo tradicional basado únicamente en aprender conceptos [14].

Este nuevo modelo de aprendizaje es mejor que el tradicional en el que el estudiante y el profesor están juntos en el mismo lugar y al mismo tiempo solo en la etapa de transmisión de contenidos pero en el que el estudiante está completamente solo cuando es necesario que aplique los conceptos transmitidos.

Una última ventaja de usar SPOCs en la educación presencial es que el profesor puede mejorar constantemente los materiales basándose en los datos recogidos sobre la interacción de los estudiantes con dichos materiales (número de accesos, tiempo utilizado para cada elemento, resultados de los exámenes, etc.).

IV. Descripción del Estudio Experimental

El estudio experimental se centra en la comparación del rendimiento de los estudiantes de dos ediciones consecutivas (edición 2013 y 2014, respectivamente) de unaasignatura de Estructura de Datos y Algoritmos de primer curso del Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación de la Universidad Autónoma de Madrid. En ambas ediciones los estudiantes matriculados fueron en torno a 90. En la edición de 2014 se utilizó el modelo de clase invertida junto con la utilización de videos y documentación online. En la edición de 2013, solo estaba disponible la documentación online.

Para poder analizar la validez del enfoque propuesto, se recogió una variedad de información estadística sobre la interacción de los estudiantes con el SPOC y durante las clases presenciales. Entre la información recogida se encuentra el número de veces que los estudiantes acceden a cada vídeo y cada documento y los timestamps de la actividad de los estudiantes. Otros datos recogidos incluyen las calificaciones obtenidas en las distintas pruebas online, los exámenes presenciales, y las actividades prácticas, así como la opinión de los estudiantes sobre el curso y sus actividades.

Los datos recogidos fueron correlacionados para analizar la relación entre las distintas dimensiones de la actividad del estudiante: sus calificaciones, su satisfacción con el curso y su implicación en las actividades del curso. Este análisis se utilizópara comparar los resultados obtenidos por los estudiantes de 2014, cuando se usó el modelo basado en un SPOC, con los resultados obtenidos en 2013, cuando no había vídeos disponibles, con el objetivo de evaluar si el uso de un SPOC puede mejorar el valor didáctico de un curso presencial.

V. Resultados

A partir de los análisis realizados podemos hacer algunas observaciones. Primero, como se puede apreciar en la Figura 2, el porcentaje de estudiantes que han aprobado el curso donde se utilizó el SPOC ha mejorado en más de 5 puntos porcentuales desde 66,3% en 2013 a 71,7% in 2014. Además, se puede observar una reducción clara del abandono (calculado como el porcentaje de estudiantes que no se presentaron al examen final) desde un 9,0% en 2013 a un 3,3% in 2014.

Otra observación interesante es el distinto patrón de acceso de los estudiantes de un año a otro. En la Figura 3 se muestra el acceso medio por estudiante a los ocho documentos que estaban disponibles en ambas ediciones. Los documentos del 1 al 4 no tienen ningún video relacionado mientras que los documentos del 5 al 8 sí que disponen de un vídeo relacionado. Como se puede observar

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

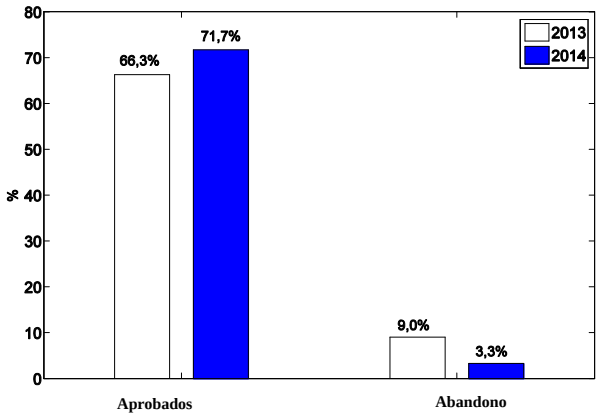


Fig. 2. Porcentaje de aprobadosy tasa de abandono para las ediciones de 2013 y 2014 de la asignatura.

en la figura, los documentos sin video asociado han mantenido aproximadamente el número medio de accesos por estudiante y documento (acc/est/doc), de 2,0 acc/est/doc en 2013 a 1,9 acc/est/doc en 2014. Por otro lado, los documentos con vídeo asociado han experimentado una reducción clara del número medio de accesos por estudiante yendo desde 5,2 acc/est/doc en 2013 a 2,7 acc/est/doc en 2014. Esto indica que los videos suponen un apoyo importante para el proceso de aprendizaje de los estudiantes pero que no sustituyen completamente a los materiales escritos. Con respecto a los vídeos, se observó una media de accesos de 1,8 acc/est/vídeo. En total, esto representa un incremento en el tráfico total del material del curso superior a un 60%, desde 28,8 acc/est a los distintos materiales en 2013 a 46,9 acc/est en 2014.

La Figura 4 muestra el patrón de acceso temporal de los estudiantes durante el curso. El gráfico muestra el número de accesos medio por estudiante y semana. A pesar de que la duración del curso es de 15 semanas, el eje de coordenadas se extiende hasta las 22 semanas porque los estudiantes pueden volver a examinarse al final de este periodo si suspenden en la primera convocatoria.

Para la edición de 2014 del curso el gráfico muestra el número de accesos a los documentos (en verde) y a los vídeos (en azul). Estas dos curvas están apiladas de forma que se muestre el número total de accesos así como la contribución relativa de cada tipo de recursos (documentos o vídeos) al total. Además, el número medio de accesos a los documentos en la edición de 2013 se muestra con una línea continua negra.

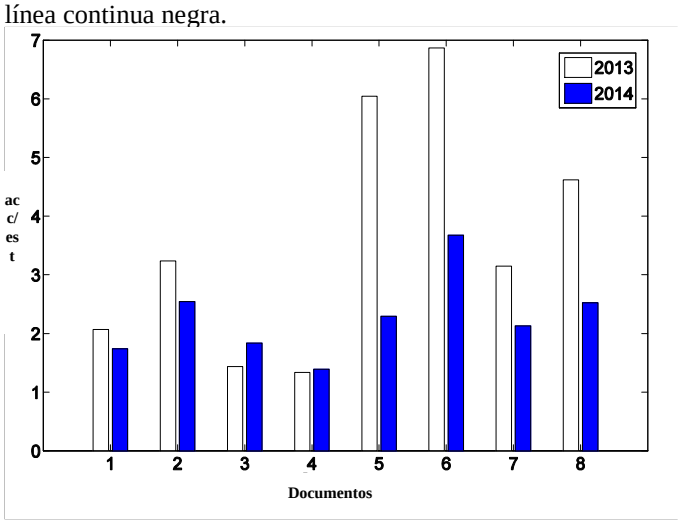


Fig. 3. Número medio de accesos a documentos por estudiante. Los documentos de 1 al 4 no tienen vídeo rasociado. Los documentos del 5 al 8 sí.

En este gráfico se puede observar que los estudiantes accedieron un mayor número de veces en 2013 que en 2014. Sin embargo, en 2014, esto se compensa por el número de accesos a vídeos. Los picos en los gráficos indican los días previos a las distintas pruebas y exámenes. Es interesante ver que para el examen final (semana 15), los vídeos fueron la principal fuente utilizada por los estudiantes y que se visitaron 5 veces más que los documentos durante los 10 días previos al examen. Los vídeos permiten a los estudiantes revisar los conceptos más complicados una vez que las clases presenciales han terminado.

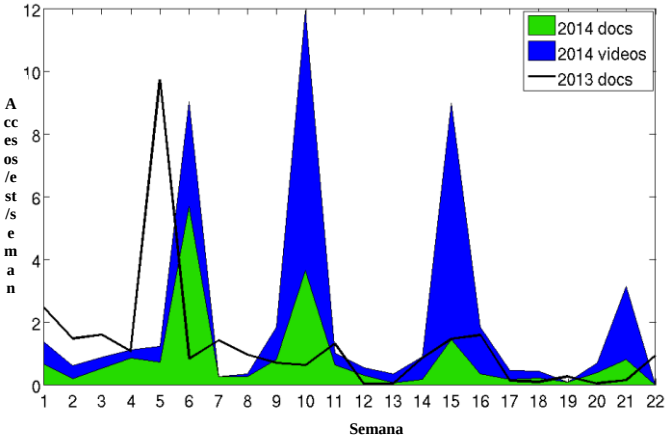


Fig. 4. Número medio de accesos por estudiante a documentos en 2013 (línea continua negra) y a documentos y vídeos en 2014 (en verde y azul respectivamente). Los datos para 2014 están apilados, de forma que se pueda observar el total acumulado de accesos para vídeos y documentos.

Para poder analizar si existe una relación entre las calificaciones obtenidas por los estudiantes y sus patrones de acceso, hemos comparado el número de veces que se accede a cada documento y vídeo por cada estudiante con las calificaciones finales obtenidas. Este análisis se muestra en los gráficos de dispersión de las Figuras 5 a 8. Cada punto en los gráficos representa un estudiante. Las Figuras 5 y 6 muestran el número total de accesos al contenido online con respecto a la calificación final obtenida para las ediciones de 2013 y 2014, respectivamente. Para la edición de 2014 se muestra el número total de accesos a vídeos y documentos (Figura 6) y para la edición de 2013 se muestra el número de acceso a documentos (Figura 5). En la Figura 7 se muestra el número de accesos a vídeos y documentos de forma separada con respecto a la calificación final para la edición de 2014. Finalmente, la Figura 8 muestra la relación entre las calificaciones finales y el porcentaje de acceso a videos con respecto al total de accesos. Esto significa que los estudiantes que solo accedieron a los vídeos, y no a los documentos, tienen un porcentaje de 100% en esta gráfica y los estudiantes que solo acceden a documentos tienen un porcentaje de 0%.

En las Figuras 5 y 6 puede observarse que no existe una correlación entre el número total de accesos y las calificaciones finales ni en la edición de 2013 ni en la de 2014. Se puede observar también una acumulación de estudiantes alrededor de las valores de la mediana para las notas finales (6,1) y el total de accesos (39) para la edición de 2014. Una acumulación similar se observa para la edición de 2013 (con 6 para la mediana de la nota final y 24 para los accesos).

Como muestra la Figura 7, tampoco existe una correlación entre las calificaciones finales y el número de accesos a vídeos o documentos.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Sin embargo, en la Figura 8 se puede observar un interesante resultado. La gráfica muestra una correlación significativa entre las calificaciones finales y el porcentaje de accesos a vídeos con respecto al total de accesos. Esta correlación es pequeña (R=0,34) pero significativa con un p-valor<0,01, que indica que la probabilidad de observar esta correlación por azar es inferior a un 1%. Esta correlación significa que los estudiantes que prefieren los vídeos con respecto a los documentos, obtienen, en media, mejores resultados.

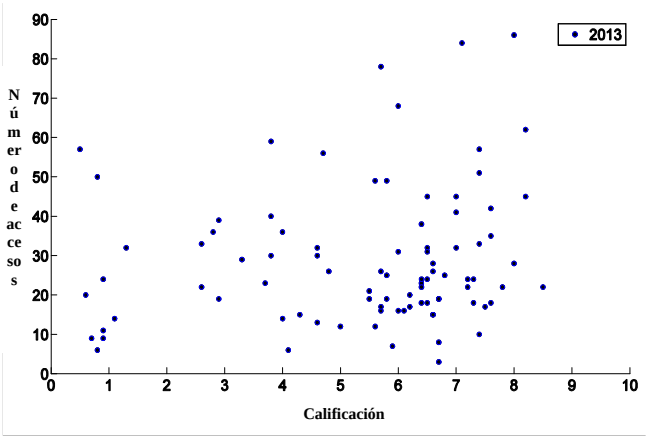


Fig. 5. Número total de accesos a documentos en 2013 con respecto a las calificaciones finales.

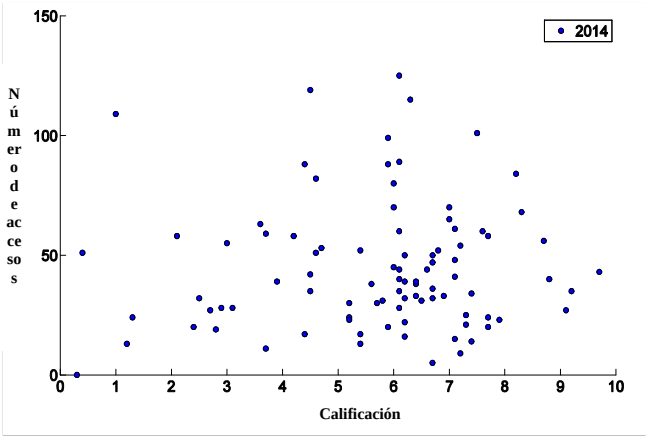


Fig. 6. Número total de accesos a documentos y vídeos con respecto a la calificación final para la edición de 2014.

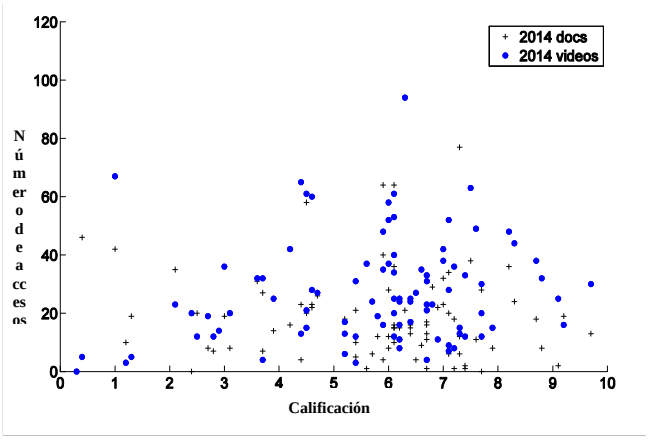


Fig. 7. Número de accesos a vídeos y documentos de forma separada con respecto a las calificaciones finales en 2014.

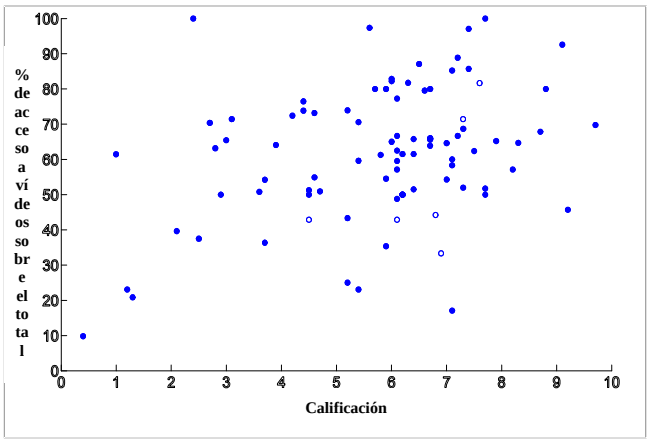


Fig. 8. Relación entre las calificaciones finales y el porcentaje de accesos a vídeos con respecto al total de accesos.

Finalmente, el nivel de satisfacción medio de los estudiantes con la asignatura ha aumentado moderadamente de 3,53 a 3,70 en una escala likert de 5 items. No es posible hacer un test estadístico de estas medidas ya que solo se dispone de los valores medios. Un aspecto más interesante es el número de cuestionarios recogidos en las distintas ediciones que ha aumentado del 16,9% al 27,2% del total de estudiantes, lo que indica unaimplicación mayor de los estudiantes con el curso. Hay que tener en cuenta que estos cuestionarios los lleva a cabo la universidad y los estudiantes no están obligados a rellenarlos. En relación con las preguntas abiertas de los cuestionarios, los estudiantes no hicieron ningún comentario sobre los materiales online para la edición de 2013. Sin embargo, en 2014, el 67% de las respuestas valoran este tipo de materiales, especialmente los vídeos. Dos respuestas ilustrativas son "*...los vídeos son bastante buenos, ya que explican los conceptos de forma clara y con ejemplos sencillos ...*" y "*...los vídeos son el futuro de la educación ...* ".

VI. Conclusiones y Trabajo Futuro

En este artículo proponemos el uso de un SPOC en una asignatura presencial de primer año de grado sobre Estructuras de Datos y Algoritmos. A los estudiantes que han cursado la asignatura se les ha dado acceso a materiales online a través de un SPOC lo que les ha permitido trabajar a su propio ritmo pero ajustándose a los plazos de entrega y fechas de exámenes determinados por el curso. Se han analizado dos ediciones consecutivas de la asignatura, una en la que se usó el SPOC y el modelo de enseñanza invertida y otra sin ambos elementos.

El análisis se ha basado en los datos recogidos sobre las interacciones de los estudiantes con los contenidos y pruebas de evaluación online, e incluyen una comparación con una edición anterior delaasignatura únicamente presencial. También se recogió información de la experiencia subjetiva de los estudiantes mediante una encuesta de satisfacción y se ha correlacionado los distintos datos recogidos con el rendimiento de los estudiantes.

El estudio muestra que el uso de un SPOC junto con un modelo de clase invertida ha mejorado laimplicación de los estudiantes, su satisfacción con el curso y sus calificaciones finales, a la vez que ha reducido la tasa de abandono con respecto al curso basado únicamente en un modelo presencial. Otro resultado relevante es que se ha encontrado una correlación significativa entre las calificaciones finales y el ratio de accesos a videos con respecto al número total de accesos. Esto indica que los estudiantes que han preferido

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

los vídeos a los documentos han obtenido, en media, un mejor rendimiento académico.

Una limitación del estudio presentado es que solo considera dos cursos académicos, 2013 y 2014. Estamos trabajando en ampliar dicho estudio con datos sobre cursos académicos adicionales para monitorizar las mejoras sobre un periodo de tiempo más largo.

También sería útil recoger más datos durante las sesiones presenciales para analizar posibles correlaciones con la actividad online y poder así entender mejor los distintos estilos de aprendizaje de los estudiantes. Estos datos pueden incluir datos de asistencia, dudas planteadas por los estudiantes sobre los materiales, dificultades para llevar a cabo las tareas prácticas propuestas, tiempo necesario para completar los ejercicios, o número de estudiantes que requieren tiempo extra para completar los ejercicios.

Además, podría ser interesante identificar posibles correlaciones con información sobre elbackground de los estudiantes, como el número de veces que han cursado la asignatura, o el número de años transcurridos desde que iniciaron el grado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de la Dirección General de Investigación a través del proyecto TIN2013-42351-P y de la Comunidad de Madrid a través del proyecto CASI-CAM S2013/ICE-2845.

REFERENCIAS

[1] M.Y. Vardi, “Will MOOCs destroy academia?” Communications of the ACM, vol. 55 (11), pp. 5-5. 2012. Online: http://cacm.acm.org/magazines/2012/11/156587-will-moocs-destroy-academia/fulltext. Accessed: 2016-03-31.

[2] L. Armstrong, “Coursera and MITx: sustaining or disruptive?,” 2012. http://www.changinghighereducation.com/2012/08/coursera-.html Accessed 2016-03-31.

[3] J. Haber, “xMOOC vs. cMOOC,”. Degree of Freedom Blog. http://degreeoffreedom.org/xmooc-vs-cmooc/. Accessed: 2016-03-31.

[4] D. Clark, “MOOCs: taxonomy of 8 types of MOOC,”. Donald Clark Plan B Blog. http://donaldclarkplanb.blogspot.co.uk/search?q=MOOCs:+taxonomy Published 2013-04-16. Accessed 2016-03-31.

[5] S. Downes, “The rise of MOOCs,” http://www.downes.ca/post/57911 Published 2012-04-23. Accessed 2016-03-31.

[6] A. Fini, “The technological dimension of a massive open online course: the case of the CCK08 course tools,”. The International Review of Research in Open and Distance Learning, vol. 10(5). 2009. Online: http://www.irrodl.org/index.php/irrodl/article/view/643/1402 Accessed: 2016-03-31.

[7] S. Downes, G. Siemens, “CCK08 (Connectivism and Connective Knowledge). The distributed course,” https://sites.google.com/site/themoocguide/3-cck08---the-distributed-course Accessed: 2016-03-31.

[8] A. Fox, “From MOOCs to SPOCs,” Communications of the ACM, Vol. 56 No. 12, pp. 38-40, 2013.

[9] K. Rose, “Student Perceptions of the Use of Instructor-Made Videos in Online and Face-to-Face Classes,” Journal of online learning and teaching, Vol.5 No. 3, 2009.

[10] H. David Brecht, “Learning from online video lectures,” Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice, Vol. 11, 2012.

[11] J. Daniel, “Making sense of MOOCs: musings in a maze of myth, paradox and possibility,” Journal of Interactive Media in Education. http://jime.open.ac.uk/articles/10.5334/2012-18/. Accessed 2016-03-31.

[12] G. Siemens, “What are learning analytics?,” eLearnspace. http://www.elearnspace.org/blog/2010/08/25/what-are-learning-analytics/ Published 2010-08-25. Accessed: 2016-03-31.

[13] Mayer, R.E. (2009). Multimedia Learning. CambridgeUniversity Press, 2009.

[14] Perrenoud, P. (1999). Construire des compétences, tout un programme! Entrevue avec Philippe Perrenoud. Propos recueillis par Luce Brossard, Vie pédagogique, 112, September-October 1999, pp. 16-20.

Gonzalo Martínez Muñoz es profesor de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Autónoma de Madrid desde 1998. Licenciado en Ciencias Físicas (1995) y doctor en Informática (2006). De 1996 a 2002 trabaja como programador y analista en distintas empresas combinándolo con la docencia en la universidad. A partir de 2002 pasa a dedicarse a tiempo completo a la universidad. Durante el curso 2008/2009, trabaja como investigador Fulbright postdoctoral en Oregon State University. Imparte asignaturas de sistemas informáticos, programación, aprendizaje automático o programación de dispositivos móviles. Forma parte del equipo docente del MOOC “Jugando con Android - Aprende a Programar tu Primera App” ofertado en la plataforma edX. Sus principales líneas de investigación son aprendizaje automático y visión artificial.

Estrella Pulido Cañabate es profesora en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Autónoma de Madrid desde 1996. Licenciada en Informática por la Universidad Politécnica de Madrid (1989) y doctora en Informática por la Universidad de Bristol, UK (1996). En el año 2000 obtiene la plaza de profesor titular en el área de Lenguajes y Sistemas Informáticos. Imparte asignaturas de programación, bases de datos y computación intensiva. Ha coordinado proyectos de innovación docente relacionados con la digitalización de recursos docentes para su uso en cursos online y forma parte del equipo docente del MOOC “Jugando con Android - Aprende a Programar tu Primera App” ofertado en la plataforma edX. Sus principales áreas de investigación incluyen el uso de Internet y mundos virtuales en educación y el big data.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Capítulo 5

Mutantes como Apoyo para la Valoración de Pruebas

Francisco Chicano y Francisco Durán

***Title*— Mutants to support software tests assessment.**

***Abstract*— In this work, we propose the use of the mutation testing technique in software testing courses, to help the instructor in the students' assessment. Students can also use it to better understand the technique. We describe our experience using mutation testing in a software testing course. Supported by a software tool to generate and evaluate mutants, the instructor can get a fast assessment of the test suites quality. This assessment can guide/confirm the instructor's personal assessment. Students can use such a tool to get a first assessment of their job and guide the steps to improve their test suite**

***Index Terms*— Mutation testing, software testing, assessment.**

***Abstract*— En este trabajo proponemos el uso de *mutation testing* en asignaturas de pruebas de software para ayudar en la labor de evaluación de las mismas, a la vez que ayuda a los alumnos a entender y asimilar la técnica en sí. Describimos nuestra experiencia en una asignatura de pruebas de software. Con ayuda de una herramienta para la generación y evaluación de mutantes, el profesor puede obtener una idea rápida de la calidad de las pruebas que puede guiar/confirmar su evaluación. El alumno puede obtener una primera evaluación de su trabajo y puede mejorar el conjunto de pruebas.**

***Index Terms*— Mutation testing, pruebas de software, evaluación.**

I. Introducción

HACE unos años era difícil, casi imposible, encontrar asignaturas sobre pruebas en las titulaciones relacionadas con la informática en las universidades españolas. Tampoco era fácil encontrarlas en otros países. Sin embargo, las necesidades de las empresas dedicadas al desarrollo de software, y sobre todo su aparición como área de conocimiento de la ingeniería del software en la guía del cuerpo de conocimiento de la ingeniería del software [1] provocaron que empezaran a aparecer cursos de formación en pruebas de software con distintos formatos. En una primera instancia fueron experiencias puntuales en másteres y titulaciones propias (véase, por ejemplo, el curso de experto Ingeniería de Pruebas y Testing del Software de la Universidad de Sevilla [2] o la asignatura *Pruebas y Control de Calidad* dentro del máster de desarrollo de aplicaciones y servicios web de la Universidad de Alicante[1] o la asignatura *Testing y Calidad* en el Máster en Ingeniería Web y Tecnologías RIA de la Universidad de Málaga[2]

La situación cambió drásticamente con los cambios de planes de estudio llevados a cabo para adaptar las titulaciones ofertadas por las universidades españolas al espacio europeo de educación superior. La flexibilidad introducida en la nueva legislación ha hecho, sin embargo, que la introducción de las pruebas de software se haya hecho de forma muy desigual en las distintas universidades. Así, además de la variedad en títulos de grado, nos encontramos con unas universidades que ofrecen asignaturas sobre pruebas como optativas y otras como obligatorias, en unas donde encontramos asignaturas dedicadas por entero a las pruebas de software, otras donde se combina el estudio de pruebas y mantenimiento, otras donde aparece combinado con algún método formal de especificación y análisis, y otras donde no aparece como una asignatura, sino transversalmente en varias. A modo de ejemplo, véase la asignatura optativa del Grado en Ingeniería Informática de la Universidad de Alcalá de Henares *Calidad, pruebas y mantenimiento del software*[3], la optativa del Grado en Ingeniería del Software de la Universidad Complutense de Madrid *Especificación, validación y testing*[4], la obligatoria de los Grados en Ingeniería Informática e Ingeniería del Software de la Universidad de Sevilla *Diseño y Pruebas*[5] o la obligatoria *Ingeniería del Software I* de la Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Cataluña que

Este trabajo se presentó originalmente en las XXI Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2015).

Francisco Chicano pertenece al Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación, E.T.S. Ingeniería Informática, Universidad de Málaga, Andalucía Tech, 29071, Málaga. (Tel.: +34 95213 2815, email chicano@lcc.uma.es).

Francisco Durán pertenece al Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación, E.T.S. Ingeniería Informática, Universidad de Málaga, 29071, Málaga. (e-mail duran@lcc.uma.es).

[1] http://cv1.cpd.ua.es/consplanesestudio/cvFichaAsiEEES.asp?wCodAsi=38204

[2] http://riatec.lcc.uma.es/

[3] http://www.uah.es/estudios/asignaturas/programas/G780/780043_G780_2014-15.pdf

[4] http://www.fdi.ucm.es/Pub/ImpresoFichaDocente.aspx?Id=510

[5] http://www.us.es/estudios/grados/plan_205/asignatura_2050018

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

incluye un tema sobre el diseño de pruebas a partir de la especificación de sistemas software[6].

La E.T.S.I. Informática de la Universidad de Málaga ofrece Grados en Ingeniería del Software, en Ingeniería de Computadores y en Ingeniería Informática, este último con menciones en Sistemas de Información, Tecnología de la Información y Computación. Estos tres grados ofrecen una asignatura obligatoria en segundo curso *Introducción a la Ingeniería del Software* en laque se presentan contenidos básicos sobre pruebas. En el Grado en Ingeniería del Software se ofrecen, entre otras asignaturas, y continuando con la formación en la validación y verificación de software, *Mantenimiento y Pruebas de Software* y *Métodos Formales en Ingeniería del Software*.

En la asignatura sobre pruebas se presenta un abanico de técnicas de prueba y los fundamentos teóricos tras ellas. Uno de los objetivos principales de la asignatura es que los alumnos sean capaces de seleccionar una estrategia de pruebas adecuada, definir casos de prueba adecuados y formular hipótesis de corrección de los mismos. Aunque son muchos los conceptos y contenido teórico que se imparten en la asignatura, esta es principalmente práctica. La necesidad de llevar a cabo todo tipo de pruebas ha provocado que existan una gran cantidad de herramientas tanto de uso público como comercial que implementan prácticamente todas las técnicas a utilizar. En entornos como el nuestro, en que la formación práctica es fundamental, inmediatamente surge la necesidad de establecer mecanismos de valoración del trabajo realizado. La evaluación de los alumnos es importante, por supuesto, pero cara al proceso formativo el poder darle una corrección del trabajo realizado es fundamental para que el alumno sepa si puede seguir como va o ha de cambiar su forma de realizar las tareas. Mucho se ha dicho sobre esto en el pasado en distintos contextos. En formación en programación es cada vez más habitual el disponer de sistemas de evaluación automáticos (véanse, por ejemplo, [3] y [4]) o incluso herramientas on-line como las descritas en [5], [6] y [7]).De hecho, muchas de estas herramientas están basadas en pruebas de unidad, utilizando JUnit o TestNG para ejecutarlas. Estas herramientas pueden además indicar con precisión qué es lo que produjo el fallo, lo cual puede ayudar al alumno a corregirlo.

En torno a las pruebas de software se han desarrollado una gran cantidad de medidas que permiten saber, con diferentes niveles de precisión, cuán buenas son las pruebas realizadas. Para el alumno, el obtener medidas que le digan que sus pruebas ejecutan el 90% del código probado o el 30% de las condiciones le sirve como una motivación adicional para conocer mejor dichas medidas de cobertura y para emplearlas mejor a la hora de desarrollar sus pruebas. Por supuesto, estas medidas no son la solución a todos los problemas, hay muchas situaciones que no quedarán reflejadas en ninguno de estos indicadores, pero la cuestión es que estos indicadores son útiles para su formación, de la misma forma que lo son para su evaluación o para el seguimiento de cualquier actividad. Una técnica de gran actualidad para dar una estimación de la bondad de nuestros conjuntos de pruebas es la técnica de los mutantes, que básicamente consiste en inyectar pequeñas modificaciones en el código fuente del software al que se aplican las pruebas para comprobar si nuestro banco de pruebas es capaz de detectarlas. Estas modificaciones son errores introducidos a propósito, pero que nuestras pruebas deberían ser capaces de detectar. Cuanto mejores sean nuestras pruebas más mutantes serán capaces de identificar como erróneos. Macario Polo y Pedro Reales presentaron en [8] una propuesta pedagógica para la enseñanza de los mutantes mediante una metáfora, en concreto comparar los mutantes con faltas de ortografía, y los conjuntos de casos de prueba con revisores ortotipográficos.

En este trabajo presentamos cómo hemos utilizado la técnica de generación de mutantes para evaluar la bondad de los conjuntos de casos de prueba aportados por los alumnos. El número de mutantes eliminados nos da un indicador muy útil para la valoración de las prácticas, lo cual puede permitir aumentar el número de prácticas valoradas de cada alumno, pero más importante aún, proporcionar una respuesta más rápida al alumno. Por último, un análisis de los mutantes que no se han podido eliminar permiten localizar con exactitud el fragmento de código cuya modificación no ha sido detectada por las pruebas, sirviendo de indicador de los casos de prueba que es necesario añadir para completarlo. Por supuesto, esta técnica tiene sus limitaciones. Dado el tipo de herramientas disponibles, la técnica está limitada a pruebas de unidad de caja blanca.

Tras dar una descripción más precisa de la asignatura en la sección II y una breve introducción a la técnica de pruebas basada en mutantes en la sección III, presentamos la metodología utilizada en la asignatura relacionada con el presente trabajo en la sección IV, los resultados obtenidos en la sección V y una discusión sobre estos en la sección VI. El trabajo termina con unas conclusiones e ideas de trabajo futuro en la sección VII.

II. La Asignatura

Los contenidos de la asignatura *Mantenimiento y Pruebas del Software* de la E.T.S.I. Informática de la Universidad de Málaga recogen las técnicas habituales de realización de pruebas, incluyendo pruebas de caja negra (particionamiento de valores, modelos combinatorios, grafos de transición de estados) y de caja blanca (revisiones formales, análisis de flujo de control y de flujo de datos, pruebas basadas en mutantes), pruebas de unidad, de integración y de sistema, pruebas de rendimiento, de estrés, de configuración, pruebas de regresión y pruebas de aceptación. Se hace un especial énfasis en las pruebas de sistemas orientados a objetos y sus particularidades, en la generación de pruebas a partir de modelos UML, y con atención a la existencia de estándares para la planificación y gestión del proceso de elaboración y ejecución de pruebas.

En concreto, en nuestra asignatura desarrollamos pruebas para Java en el entorno de Eclipse, y las herramientas que utilizamos son JUnit para pruebas de unidad, Mockito para pruebas de integración, EclEmma para medidas de la cobertura de pruebas, μJava para generación de mutantes y

[6] http://www.fib.upc.edu/es/estudiar-enginyeria-informatica/enginyeries-pla-2003/assignatures/ES1.html

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

FEST para pruebas de interfaces gráficas de usuario. La elección de cualquiera de estas herramientas es discutible, pero el contexto en el que se imparte, donde se apuesta por Java como lenguaje vehicular, donde los alumnos están familiarizados con Eclipse, no deja muchas alternativas. El resto de las herramientas son herramientas de fácil acceso y que permiten poner en práctica conceptos y técnicas similares a los que encontramos en otras herramientas más potentes.

La asignatura se imparte en 13 semanas, con dos clases de 1 hora 45 minutos cada una. Se realizan 7 prácticas a lo largo del curso, cada una de las cuales les permite familiarizarse con una nueva técnica o herramienta. Cada práctica consta de una pre-tarea, a realizar antes de la sesión de laboratorio, una tarea a realizar en el laboratorio, y una post-tarea, a realizar con posterioridad. Las pre-tareas están diseñadas de forma que los alumnos lleguen al laboratorio en condiciones de realizar una práctica útil aprovechando el tiempo del que disponen. La post-tarea consiste en algún ejercicio adicional, más la compleción de la tarea, que es lo corregido y registrado para la evaluación final.

Las prácticas son realizadas en parejas, que forman ellos para cada práctica. Solo se les ponen dos condiciones: que no repitan pareja, cada práctica la realizarán con un compañero diferente, y que no se empareje un alumno que no ha realizado la pre-tarea con otro que sí la ha hecho. La primera restricción les ayuda a adaptarse a trabajar con personas distintas, sacándoles de su área de confort y obligándoles a ser autónomos. Aunque los dos autores de cada práctica obtienen la misma calificación, la variación de parejas permite minimizar bastante bien el impacto que una mala experiencia pueda tener. La segunda restricción funciona sorprendentemente bien como motivación para la realización de las pre-tareas, a la vez que garantiza el no perjudicar a los que sí lo han hecho y permitirles aprovechar mejor el tiempo de laboratorio. La experiencia de que dos personas que no han preparado la práctica es tan negativa que si algún alumno por cualquier circunstancia no ha podido realizarla se va a asegurar de que no vuelva a suceder. De hecho, en los dos años que se ha utilizado este mecanismo, solo en la primera clase hay algún alumno que no la realiza.

De las 7 prácticas que componen la asignatura, utilizamos los mutantes para valorar las tres primeras: una sobre triángulos y colas, la segunda para probar un paquete estadístico y una tercera en la que se prueba una implementación de árboles AVL. Realizamos una revisión manual de las prácticas solo en el paquete estadístico y en la implementación de árboles AVL, puesto que la primera práctica tenía como objetivo recordar los conocimientos de JUnit que los alumnos habían adquirido en una asignatura previa, y su evaluación no tenía mucho valor para la asignatura de pruebas.

III. MUTATION TESTING

Las pruebas basadas en mutación, o *mutation testing*, es un enfoque propuesto por DeMillo, Lipton y Sayward [9] en 1978 para evaluar la calidad de un conjunto de casos de prueba. La idea consiste en crear ligeras variaciones, llamadas *mutantes*, del código a probar. Después se ejecutan los casos de prueba sobre el programa original y los mutantes y se cuenta el número de mutantes para los que la salida obtenida difiere de la del programa original (mutante muerto). Cuantos más mutantes sean estos mejor es el conjunto de casos de prueba. A continuación realizamos una descripción más detallada.

Dado un software a probar *P*, un mutante *m* es una copia de dicho software en la que se ha insertado un pequeño cambio. Este cambio se aplica al código fuente del software y normalmente en una sola sentencia del código[7]. Se han propuesto diversos tipos de mutaciones, llamados *operadores de mutación*, entre los que podemos destacar: reemplazo de un operador aritmético usado en una expresión por otro diferente (AOR), reemplazo de un operador relacional por otro diferente (ROR), reemplazo de un operador lógico usado en una condición por otro diferente (LCR) e inserción de un operador unario (UOI).

```
double normaInf(double x, double y) {
  return Math.abs(x) + Math.abs(y);
}
```

(a) Código original

```
double normaInf(double x, double y) {
  return Math.abs(x) - Math.abs(y);
}
```

(b) Mutante AOR

Fig. 1: Fragmento de código original y un mutante de tipo AOR.

Estas mutaciones pretenden modelar los pequeños errores que un programador puede cometer al escribir el código. En la Figura 1 podemos ver un ejemplo de mutación de tipo AOR. Cada uno de los operadores de mutación se aplica a todas las sentencias donde sea posible y se genera el correspondiente *mutante*. De esta forma, a partir de un código de algunas decenas de líneas de código es posible generar cientos de mutantes. Una vez que se han generado los mutantes, se ejecuta cada caso de prueba sobre el código original y cada uno de los mutantes. Si las salidas obtenidas al ejecutar un caso de prueba *t* sobre el código original y el mutante *m* difieren, decimos que el caso de prueba *t mata* al mutante *m*. Esta definición podemos extenderla al conjunto *T* de casos de prueba: si algún caso de prueba $t \in T$ mata al mutante *m* decimos que el conjunto *T* mata a *m*.

Un conjunto de casos de prueba bien diseñado no debería tener problemas para distinguir entre los mutantes y el programa original y, por tanto, debería ser capaz de matar a muchos de los mutantes. De aquí que cuantos más mutantes mate el conjunto de casos de prueba mejor se asume que es la calidad del mismo. Sin embargo, es posible que algunos mutantes queden siempre *vivos* tras aplicar cualquier conjunto de casos de prueba porque pueden ser *funcionalmente equivalentes* al código original.

Esta equivalencia funcional impide la completa automatización de la medida de calidad del conjunto de casos de prueba. En efecto, comprobar si dos programas son

[7] Los mutantes de orden superior introducen cambios en varias sentencias simultáneamente.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

funcionalmente equivalentes o no es un problema indecidible. En la práctica, lo que se hace es una inspección manual del mutante que se sospecha que es funcionalmente equivalente. Si se puede afirmar que es funcionalmente equivalente se marca como tal y no se considera para el cálculo de la calidad del conjunto de casos de prueba. Empíricamente se ha observado que entre el 5% y el 20% de los mutantes generados son funcionalmente equivalentes al programa original [10].

Si llamamos *M* al conjunto de mutantes generados, *K* a los mutantes que ha matado el conjunto de casos de prueba *T* y *E* al conjunto de mutantes funcionalmente equivalentes a *P*, definimos el *mutation score* como el cociente:

$$MS(P,T) = \frac{|K|}{|M| - |E|} \quad (1)$$

El *mutation score* es un número entre 0 y 1 que representa la calidad del conjunto de casos de prueba *T*. Cuanto más alto sea mayor será la calidad de *T*.

Offutt propuso una estrategia para diseñar casos de prueba basada en los mutantes [11]. Una vez diseñado el primer conjunto de casos de prueba, se ejecuta sobre el programa original y los mutantes tal y como se describió anteriormente. Aquellos mutantes que sobrevivan son inspeccionados para averiguar si son funcionalmente equivalentes al código original. Si es así, el mutante se marca adecuadamente, obviándolo en sucesivas ejecuciones del conjunto de casos de prueba. Si no es funcionalmente equivalente se diseña un caso de prueba que sea capaz de distinguir a dicho mutante del código original. Este caso de prueba se añade al conjunto de casos de prueba. Tras haber analizado cada uno de los mutantes supervivientes, se vuelve a ejecutar el conjunto de casos de prueba sobre ellos y se repite todo el proceso. En cualquier momento podría detectarse un error en el código original, en cuyo caso hay que volver a generar todos los mutantes tras modificar el código y empezar de nuevo.

Existen diversas herramientas de apoyo a *mutation testing*. Algunos ejemplos son µJava de Ma et al. [12], Bacterio de Reales et al. [13] y Evosuite de Arcuri y Fraser [14]. Nosotros optamos por µJava porque trabaja sobre código Java y pruebas en JUnit, y sobre todo porque desde hace pocos años posee una interfaz de línea de órdenes que permite crear fácilmente *scripts* de *shell* para aplicar *mutation testing* a las distintas entregas de los alumnos. µJava considera que la salida del código original difiere de la salida del mutante si el resultado del caso de prueba (éxito, fallo o error) es diferente en ambos.

IV. METODOLOGÍA

Durante el curso académico 2013/14 desarrollamos un experimento para evaluar la posible utilidad de las pruebas basadas en mutación como herramienta de evaluación de prácticas de diseño de casos de pruebas unitarias Para ello nos centramos en las tres primeras tareas que los alumnos debían realizar en nuestra asignatura, como se describe en la Sección II. En los tres casos se pidió a los alumnos que diseñaran un conjunto de casos de prueba adecuado para probar las clases que los profesores les proporcionaban (en el caso de los triángulos su propia implementación).

La primera tarea, denominada *Triángulo-Cola*, se realiza la primera semana, y su objetivo es que los alumnos refresquen el conocimiento de JUnit de asignaturas anteriores y perciban diversos problemas de no utilizar ninguna metodología para enfrentarse al proceso de pruebas. Esta práctica fue corregida automáticamente pero no hubo una corrección por parte del profesor aparte de los comentarios dados a los alumnos en el propio laboratorio durante su realización.

El objetivo de la segunda práctica, denominada *StatsNumber*, es poner en práctica el concepto de cobertura de código y sus distintos tipos, previamente presentado en clase de teoría, y utilizar EclEmma para medirla, y utilizarla para maximizar con sus pruebas la cobertura del código a probar. Los profesores proporcionaron una clase Java que tenía una serie de métodos para realizar cálculos estadísticos.

El objetivo de la tercera práctica, llamada *AVL*, es llevar a cabo un análisis funcional del sistema a probar para obtener las pruebas correspondientes. Aunque pueden hacer uso de EclEmma para completar sus pruebas, es importante el análisis previo, y no solo el conjunto de pruebas finalmente obtenido o su cobertura. La implementación proporcionada incluye un par de errores de los que ellos no son conscientes. En la post-tarea se les cuestiona sobre su detección y sobre la complacencia experimentada por suponer que no había errores. La implementación que se les proporciona incluye varias clases (*AB* de árbol binario, *ABB* de árbol binario de búsqueda, *AVL*, *Lista*, *Lista Enlazada*, además de clases e iteradores). A los alumnos se les pidió que centraran sus esfuerzos en las clases que implementaban los árboles AVL y obviaran las clases relacionadas con las listas.

Los alumnos entregaron las soluciones de sus prácticas por parejas, las cuales fueron evaluadas y se les asignó una calificación entre 0 y 10. En el caso de *StatsNumber* esta calificación podía tomar cuatro valores: muy bien (10), bien (8), aceptable (5) e inaceptable (0). En el caso de *AVL*, dada su complejidad, los profesores utilizaron una escala más fina, añadiendo las calificaciones numéricas de 6, 7 y 9 a las mencionadas anteriormente. Adicionalmente, justificaban su calificación con una serie de comentarios para que los alumnos pudieran tener una retroalimentación que les permitiera aprender y mejorar en el futuro.

Posteriormente, los profesores (no los alumnos) utilizaron µJava para generar mutantes para el código fuente proporcionado en cada una de las tareas y calcularon el *mutation score* de cada conjunto de casos de prueba. Su análisis será presentado en la sección V.

Para finalizar la descripción de la metodología, aclaramos algunos aspectos que es importante tener en cuenta al interpretar los resultados obtenidos:

- La evaluación manual no está sesgada por los *mutation scores* obtenidos. El cálculo del *mutation score* para cada conjunto de casos de prueba se realizó después de la revisión manual de las tareas por parte de los profesores.

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

- En el caso de *StatsNumber* el número de mutantes generado por μJava fue de 150 y para *AVL* fueron 1315, de donde 485 son mutantes relacionados con la implementación de los árboles y 830 están relacionados con la implementación de las listas. El número de mutantes para la práctica *Triángulo-Cola* es mucho menor.
- En *StatsNumber* podemos afirmar que ningún mutante era funcionalmente equivalente al código original porque algunos conjuntos de casos de prueba logran matar los 150 mutantes. Sin embargo, en *AVL* quedaron mutantes vivos tras el cálculo del *mutation score* de todas las prácticas entregadas. No sabemos, en este caso, si hay mutantes funcionalmente equivalentes al código original. No obstante, para los objetivos de nuestro estudio empírico este dato es irrelevante, ya que lo que pretendemos comprobar es si existe una correlación positiva entre las notas asignadas por el profesor y el *mutation score* calculado con ayuda de μJava. Por este motivo, calculamos el *mutation score* dividiendo el número de mutantes muertos entre el número total de mutantes generados:

$$MS(P,T) = |K| / |M|$$

- μJava proporciona el número de mutantes generados y muertos por cada clase. En el caso de *StatsNumber*, con una sola clase, su *mutation score* se calcula dividiendo estos dos números. Sin embargo, en *AVL* no tiene sentido analizar los mutantes relacionados con las clases que implementan las listas, ya que al alumno se le dieron instrucciones de probar solamente el árbol AVL. En este caso el incluir todas las clases en el cálculo introduce cierto ruido en el *mutation score*. Por eso hemos calculado el *mutation score* de dos formas. En la primera solo hemos tenido en cuenta los mutantes de la clase AVL, mientras que en la segunda hemos considerado para el cálculo los de todas las clases relacionadas con la implementación de los árboles.
- Como se ha descrito en la sección II, para cada tarea las parejas de alumnos son distintas. Entendemos que esta práctica, propia de la metodología aplicada en la asignatura, no tiene influencia en los resultados, ya que nunca relacionamos los resultados obtenidos en distintas tareas.

V. Resultados

En esta sección presentamos los resultados obtenidos en el experimento, primero analizaremos los resultados obtenidos para *StatsNumber* y a continuación para *AVL*.

A. StatsNumber

En el Cuadro I mostramos para cada una de las 19 parejas de alumnos la nota normalizada obtenida en la corrección por parte del profesor y el *mutation score* correspondiente. La nota normalizada es simplemente el resultado de dividir la nota del alumno entre la calificación máxima (10) para que resulte un número entre 0 y 1, tal y como ocurre con el *mutation score*. Para facilitar su análisis, se han ordenado las entradas del cuadro de acuerdo a la nota, y las entradas con la misma nota atendiendo al *mutation score*.

Hemos marcado en el cuadro con un guión en *mutation score* aquellas entregas que μJava no fue capaz de ejecutar. La razón es que dichas entregas no cumplían las especificaciones de la tarea. Los alumnos que realizaron esas entregas no respetaron el código entregado por el profesor, renombrando las clases en algún caso o creando clases nuevas en otros. Puede observarse que en el caso de las entregas P1 y P2, dicho incumplimiento de la interfaz fue considerado por los profesores como inaceptable.

CUADRO I
Notas normalizadas y *mutation score* obtenido por cada una de las entregas de las parejas de alunos para la tarea *StatsNumber*.

Pareja	Nota	Mutation score
P1	0.0	-
P2	0.0	-
P3	0.5	0.75
P4	0.5	0.85
P5	0.5	0.92
P6	0.5	0.92
P7	0.5	0.93
P8	0.5	0.93
P9	0.5	0.95
P10	0.8	0.71
P11	0.8	-
P12	0.8	0.92
P13	0.8	0.93
P14	0.8	0.94
P15	0.8	0.94
P16	0.8	0.95
P17	1.0	0.95
P18	1.0	0.95
P19	1.0	1.00

Observamos la tendencia general de que las entregas con *mutation score* más alto son también aquellas a las que se le asignó una nota más alta. Existe una excepción notable en la entrega P10, donde la nota es 0.8 y el *mutation score* es de 0.71, mientras que el resto de entregas con 0.8 de nota tienen un *mutation score* por encima de 0.9.

También podemos apreciar que el *mutation score* en este caso no es capaz de distinguir adecuadamente entre las dos notas intermedias. Las entregas con valores entorno al 0.92 de *mutation score* parecen estar repartidas indistintamente entre el 0.5 y el 0.8 de nota.

Para poder interpretar adecuadamente estos resultados tenemos que tener presente que el objetivo de la práctica era maximizar los niveles de distintos criterios de cobertura utilizando EclEmma, y que la técnica de mutantes no deja de ser un criterio de cobertura adicional(que los alumnos no usaban). Con una implementación sencilla como esta, simplemente alcanzando un 100% de cobertura en líneas de código se va a obtener un valor muy alto en el *mutation score*. Tenemos que tener en cuenta también que la calificación dada por el profesor no solo considera la

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

cobertura, sino también el estilo de programación, la existencia de pruebas redundantes, etc.

Por último, a pesar de la tendencia observada en el cuadro, la dispersión de los valores hace que la correlación entre ellos sea mínima. Por ejemplo, el coeficiente de correlación de Pearson para los datos del cuadro se sitúa en torno al 0.08.

B. AVL

En el Cuadro II mostramos para cada una de las17 parejas de alumnos la nota normalizada obtenida y el *mutation score* para la clase AVL y para todas las clases relacionadas con los árboles. Se han ordenado las entradas del cuadro de acuerdo a la nota, en primer lugar, y al *mutation score* de la clase AVL en segundo. Para facilitar la observación de los datos, se muestran también en la Figura 2.

Al igual que ocurría con la tarea *StatsNumber*, en esta observamos una tendencia de los dos *mutation scores* a aumentar con la nota. En este caso dicha tendencia resulta más clara que en *StatsNumber* y, de hecho, el coeficiente de correlación de Pearson es del orden de0.30. También observamos que los dos valores de *mutation score* crecen simultáneamente, salvo por algunas excepciones en las entregas P5-P6, P9-P10 y P12-P13.

El valor del *mutation score* para los árboles resulta más bajo que el de la clase AVL. Esto no debe resultar sorprendente, ya que los alumnos se centraron en probarla funcionalidad del árbol AVL, y muchos de los métodos de las otras clases auxiliares pudieron quedar sin probar o incluso sin ejecutar durante las pruebas, permitiendo que muchos de los mutantes asociados a sentencias de dichos métodos sobrevivieran.

VI. Discusión

En esta sección vamos a discutir sobre la validez del experimento, sobre el uso práctico de los mutantes en el contexto de la formación en pruebas de software, sobre las dificultades encontradas y, por último, sobre las herramientas desarrolladas y utilizadas para su automatización.

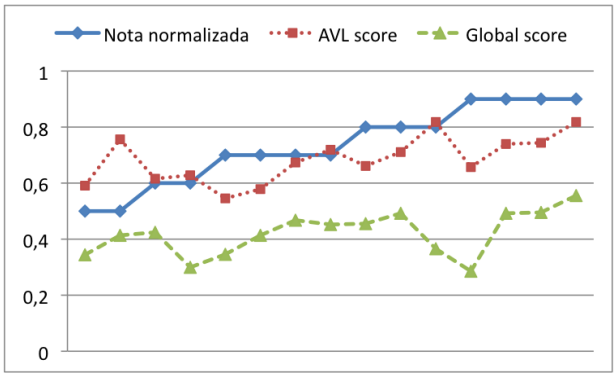
Cuadro II
Notas normalizadas y mutation score obtenido para AVL y todas las clases de la implementación de árboles por cada una de las entregas de las parejas de alumnos para la tarea AVL.

Pareja	**Nota**	*MS*AVL	*MS*árboles
P1	0.0	-	-
P2	0.5	0.59	0.34
P3	0.5	0.76	0.41
P4	0.6	-	-
P5	0.6	0.62	0.42
P6	0.6	0.63	0.30
P7	0.7	0.55	0.35
P8	0.7	0.58	0.41
P9	0.7	0.67	0.47
P10	0.7	0.72	0.45
P11	0.8	0.66	0.46
P12	0.8	0.71	0.49
P13	0.8	0.82	0.37
P14	0.9	0.66	0.29
P15	0.9	0.74	0.50
P16	0.9	0.74	0.50
P17	0.9	0.82	0.56

A. Validez del Experimento

La muestra utilizada para el experimento es demasiado pequeña como para sacar conclusiones refrendadas estadísticamente. Debemos ser cautos a la hora de confiaren la correlación observada. Por otro lado, también hay que tener en cuenta que los valores comparados están midiendo cosas distintas: mientras los *mutation scores* miden la cobertura de las pruebas y su efectividad, los profesores han valorado además otras cuestiones, como la correcta utilización de las diferentes técnicas para llegar a esos conjuntos de pruebas, la elegancia y estilo de la codificación, etc. Esto justifica, al menos en parte, que las correlaciones no sean altas.

Fig.2:Mutation score de AVL y árboles frente a lanota normalizada para AVL.



B. Uso Práctico

En principio descartamos el uso del *mutation score* para asignar una calificación automáticamente a los alumnos, pero el análisis de cada uno de los casos por separado nos permite ratificarnos en nuestra hipótesis departida: el uso de la técnica de los mutantes nos sirve como un indicador muy informativo a la hora de valorar el trabajo realizado.

No podemos olvidar la utilidad cara al estudiante. El hecho de que se trate de una medida automatizada permite al alumno obtener una respuesta inmediata que puede ayudarle a completar sus conjuntos de pruebas, de forma similar a como usa otras medidas de cobertura, y en general su formación, no solo a la hora de generar buenos conjuntos de pruebas, sino también a la horade entender la técnica de los mutantes en sí y su uso práctico.

C. Dificultades Encontradas

Aunque existen herramientas más potentes, µJava tiene una versión ejecutable en línea de órdenes que hacía especialmente atractivo su uso cara a la tarea del profesor, pues permitía automatizar su ejecución utilizando *scripts* (véase la sección VI-D). Sin embargo, µJava presenta limitaciones importantes que han dificultado el procesamiento de las entregas de los alumnos para poder obtener los *mutation scores*.

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

En primer lugar, μJava solo puede generar mutantes y ejecutar estos mutantes para clases que se encuentran en el paquete por defecto, lo cual afecta al código proporcionado por el profesor y al de los alumnos. Por otro lado, hay ciertas características del lenguaje Java que μJava no soporta a la hora de generar mutantes pero pueden usarse en las pruebas. En particular, μJava no soporta clases anidadas, no permite restricciones de parámetros, ni la definición de clases abstractas o interfaces. Estas restricciones nos obligaron a modificar el código de las clases dadas a los alumnos. Sin embargo, dado que las modificaciones necesarias eran "poco elegantes", optamos por utilizar dos versiones distintas, una proporcionada a los alumnos en Java y otra modificada equivalente y con la misma interfaz utilizada solo para la generación de los mutantes. Obsérvese que los cambios realizados no afectaban ni a las pruebas ni a los mutantes. Por ejemplo, una clase anidada estática privada (p.ej., una clase *Nodo* de la clase *AB*) se define como una clase normal visible dentro del paquete, o una clase abstracta se define como una clase no abstracta en la que los métodos abstractos son reemplazados por implementaciones por defecto de estos.

Para resolver el problema de los paquetes compilamos las clases de los alumnos usando el código original de los profesores en el *classpath*. Dado que μJava no requiere tener el código fuente de las clases de prueba, sino solo los ficheros *.class*, una vez compiladas las clases de pruebas utilizamos un pequeño programa para modificarlos ficheros *.class* cambiando toda referencia a las clases a probar, al mismo tiempo que ubicaba en el paquete por defecto las clases de prueba.

D. Script

Para poder simplificar la labor de calcular el *mutation score* obtenido por las pruebas de los alumnos, hemos desarrollado un *script* de *shell* que permite hacer *mutation testing* usando μJava proporcionando: (1) el código a probar (el código fuente original proporcionado por el profesor sobre el que los alumnos han diseñado sus casos de prueba), (2) una versión del código original que respeta la interfaz hacia los alumnos pero que no incluya ninguna de las características del lenguaje Java no soportada por μJava, y (3) una carpeta con una subcarpeta por cada alumno conteniendo el código Java de sus pruebas implementadas en JUnit.

VII. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este trabajo proponemos el uso de la técnica de los mutantes en asignaturas de pruebas de software para ayudar en la labor de evaluación de las mismas, para ayudar a los alumnos estimando la calidad de sus conjuntos de casos de prueba, y para ayudarles a entender y asimilar la técnica en sí.

Nuestra experiencia muestra que los resultados automatizados sirven como un indicador muy informativo de la calidad de las pruebas que puede servir para guiar/confirmar al profesor en su evaluación.

Nos gustaría mejorar la automatización de la evaluación. Sobre todo cara a la formación alumno. Las restricciones de μJava nos hacen dudar que sea la herramienta más adecuada. Entre las alternativas que contemplamos está contactar con los desarrolladores de μJava para ofrecernos a ayudarles en la mejora de su herramienta, y contactar con desarrolladores de otras herramientas para estudiar la posibilidad de hacer un uso similar al que realizamos con μJava.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por AndalucíaTech, Campus de Excelencia Internacional, y la Universidad de Málaga.

REFERENCIAS

[1] P. Bourque and R. Dupuis, *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK)*. IEEE Computer Society, 2004.

[2] M. Escalona, T. E. Vos, and J. Gutiérrez, "Pruebas de software en la enseñanza universitaria de la informática: un título propio, "in *Actas XVIII JENUI*, 2012, pp. 409–412.

[3] C. A. Higgins, G. Gray, P. Symeonidis, and A. Tsintsifas, "Automated assessment and experiences of teaching programming, "*ACM Journal of Educational Resources in Computing*, vol. 5,no. 3, pp. 1–21, 2005.

[4] R. Saikkonen, L. Malmi, and A. Korhonen, "Fully automatic assessment of programming exercises," in *Proceedings of ITiCSE*,2001, pp. 133-136.

[5] J. R. del Pino, M. D. Roca, and Z. H. Figueroa, "Hacia la evaluación continua automática de prácticas de programación, "in *Actas de XIII JENUI*, 2007, pp. 179–186.

[6] M. Joy, N. Griffiths, and R. Boyatt, "The BOSS on-line submission and assessment systems," *ACM Journal on Educational Resources in Computing*, vol. 5, no. 3, 2005.

[7] J. Surrell, I. Boada, J. Soler, F. Prados, and J. Poch, "Corrección automática de ejercicios de estructuras de datos a través de una plataforma de e-learning," in *Actas de XVII JENUI*, 2011, pp.75–82.

[8] M. Polo Usaola and P. Reales Mateo, "Enseñanza de la mutación en pruebas software," in *Actas de XVIII JENUI*, 2012, pp. 1–8.

[9] R. A. DeMillo, R. J. Lipton, and F. G. Sayward, "Hints on test data selection: Help for the practicing programmer," *IEEE Computer*, vol. 11, no. 4, pp. 34–41, 1978.

[10] M. Umar, "An evaluation of mutation operators for equivalent mutants," Master's thesis, King's College, London, 2006.

[11] A. J. Offutt, "A practical system for mutation testing: Help for the common programmer," in *Intl. Test Conference*, 1994, pp.824–830.

[12] Y.-S. Ma, J. Offutt, and Y.-R. Kwon, "MuJava: An automated class mutation system," *Journal of Software Testing, Verification and Reliability*, vol. 15, no. 2, pp. 97–133, June 2005.

[13] P. Reales Mateo and M. Polo Usaola, "Bacterio: Java mutation testing tool: A framework to evaluate quality of tests cases," in *Procs. of ICSM*, 2012, pp. 646–649.

[14] G. Fraser and A. Arcuri, "Achieving scalable mutation-based generation of whole test suites," *Empirical Software Engineering*, pp. 1–30, 2014.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Francisco Chicano es Doctor Ingeniero en Informática por la Universidad de Málaga y Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad Nacional de Educación a Distancia. Desde 2008 es profesor en el Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación de la Universidad de Málaga, ocupando actualmente el cargo de Profesor Contratado Doctor en dicho departamento y de *Faculty Affiliate* en la *Colorado State University* de EE.UU. Sus intereses en investigación se centran en la aplicación de técnicas de búsqueda para resolver problemas de ingeniería del software. En particular, ha contribuido a los dominios de automatización de pruebas de software, la planificación de proyectos software, la ingeniería de requisitos y la refactorización automática de software. Entre sus intereses también se encuentran la aplicación de resultados teóricos para la resolución eficiente de problemas de optimización combinatoria y la mejora de la evaluación docente usando técnicas auto- y co-evaluación. Pertenece al panel editorial de *Journal of Systems and Software*, *Evolutionary Computation (MIT Press)* y *Mathematical Problems in Engineering. Es recensor en Mathematical Reviews (publicación de la American Mathematical Society)* y ha sido presidente de comité de programa en varios congresos y *tracks* nacionales e internacionales.

Francisco Durán es profesor titular en la Universidad de Málaga. Ha sido co-autor de más de cien trabajos de investigación, en temas relacionados con los métodos formales y la ingeniería del software, entre los que podemos destacar la composición de software, la ingeniería guiada por modelos y la computación en la nube. Tiene una amplia experiencia en el desarrollo de herramientas formales, incluyendo su participación en el desarrollo de Maude, y herramientas en su entorno formal, y la herramienta deMDE e-Motions. Ha servido como PC Chair de varios talleres, varios Chairs en conferencias internacionales y como miembro del comité de programa de varias conferencias y talleres internacionales.

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Capítulo 6

Aprendizaje Basado en la Creación, Uso y Evaluación de una Red Semántica de Recursos Docentes

Pedro Álvarez y Sandra Baldassarri, *Senior Member, IEEE*

***Title*— Improving students' learning by the creation, use and evaluation of semantic-enhanced educational resources**

***Abstract*— Internet provides a huge amount of material and resources, such as videos, documents, web pages, etc., that can be useful in the teaching and learning process of any subject. In this experience, the students of a subject of the Computer Engineering Degree are involved in the tasks of: searching, classification and assessment of teaching resources and materials. These resources are semantically enhanced and stored into a repository developed by integrating semantic and crowdsourcing technologies. The final product is a source of useful information, continuously updated, and that contribute to improve the students' learning process and to achieve the educational aims of the subject. The proposal has been tested in a subject of Computer Engineering's Degree and the results are reported and discussed.**

***Index Terms*— Learning objects, search and access to resources, assessment, active methodologies, semantic technologies.**

***Abstract*— Internet facilita el acceso a numeroso material (vídeos, documentos, páginas web, etc.) que podría ser de utilidad en el proceso de enseñanza y aprendizaje de una asignatura. En esta experiencia se involucra a los estudiantes en la labor de búsqueda, clasificación y evaluación de su propio material docente. El material resultante será utilizado y compartido entre los estudiantes a través de un repositorio desarrollado a partir de tecnologías semántica y de *crowdsourcing*. El producto final esperable es una fuente de información específica, útil y en continua actualización que ayude a los estudiantes participantes a mejorar su aprendizaje y alcanzar los objetivos formativos de la asignatura. La experiencia de innovación ha sido puesta en práctica en una asignatura del Grado de Ingeniería en Informática.**

***Index Terms*— Recursos docentes, búsqueda y acceso a recursos, evaluación, metodologías activas, tecnologías semánticas.**

Este trabajo es una extensión del artículo presentado originalmente en las XXI Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2015).

Pedro Álvarez y Sandra Baldassarri son profesores del Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Zaragoza y miembros de Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A); e-mail: alvaper@ unizar.es , sandra@unizar.es.

I. INTRODUCCIÓN

A la hora de preparar o impartir una asignatura, Internet ofrece una cantidad ingente de información y materiales que pueden ser aprovechados por los docentes. En la mayoría de las ocasiones es tal la cantidad de recursos disponibles que resulta materialmente imposible considerarlos. Esta situación puede incluso agravarse dependiendo de la naturaleza y los contenidos de la asignatura y del método de enseñanza-aprendizaje que se utilice. Este es el caso de la asignatura en torno a la cual se centra la experiencia docente descrita en este artículo, "*Diseño centrado en el usuario. Diseño para la multimedia*" (DCU), impartida en la especialidad de "*Tecnologías de la Información*" del Grado de Ingeniería Informática de la Universidad de Zaragoza. Los resultados de aprendizaje de la asignatura establecen que los estudiantes deben ser capaces de construir aplicaciones y servicios multimedia y web, teniendo en cuenta la interacción con el usuario a lo largo de todo el proceso de diseño y atendiendo a los criterios más recientes de usabilidad, experiencia de usuario y accesibilidad. Para alcanzar estos resultados, el estudiante no sólo necesita una base conceptual, sino que debe también adquirir conocimiento crítico sobre las buenas y malas prácticas a considerar en el uso de técnicas de interacción y desarrollo de aplicaciones e interfaces. Por lo tanto, por un lado, se trata de una asignatura en la que los profesores deben estar constantemente actualizando el material y los sitios web o aplicaciones móviles que utilizan como ejemplos docentes; mientras que, por otro lado, los estudiantes deben buscar durante el curso ejemplos alternativos en Internet que puedan ser de utilidad en su proceso de aprendizaje. Todo este esfuerzo realizado cada curso por docentes y estudiantes no debe perderse, sino potenciarse.

No obstante, en esta experiencia de innovación docente se pretende ir más allá, en el sentido de canalizar ese esfuerzo para que los estudiantes además logren niveles de aprendizaje más profundos. Con este fin, en un primer paso, se ha construido un sistema software basado en tecnologías semánticas que permite a profesores y estudiantes clasificar los recursos docentes encontrados según los descriptores clave de la asignatura. Aunque el uso y explotación de los aspectos semánticos de la información establece una diferencia con respecto a otras herramientas existentes [1,

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

2], en general, este tipo de herramientas de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) son únicamente un instrumento para fomentar el aprendizaje y la colaboración, como se concluye en [3]. Por este motivo se ha diseñado un programa complementario de actividades que involucra directamente a los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje (otros autores ya discutieron la importancia y los beneficios de implicar a los estudiantes en estos procesos [4]). Este programa integra estrategias colaborativas, mecanismos de evaluación por pares supervisados por el profesor (este último matiz es importante como se expuso en [5]) y, además, fomenta el trabajo en grupo para el desarrollo de ciertas habilidades transversales (experiencias similares con otros objetivos fueron presentadas en [6, 7, 8]). Al final, la combinación de herramientas y actividades debe servir a los estudiantes para asentar los conocimientos adquiridos en las sesiones de aula y profundizar en conceptos nuevos relacionados con el programa de la asignatura.

Este artículo describe el diseño y los instrumentos clave de la experiencia de innovación anteriormente introducida y analiza los resultados obtenidos en una actividad piloto. Esta actividad ha sido puesta en práctica en la asignatura de DCU durante el curso 2014-2015.

En cuanto a su estructura, el artículo consta de las siguientes secciones. En la sección 2 se describe el sistema software semántico desarrollado en el marco de esta experiencia docente. En la sección 3 se detallan los objetivos relativos al proceso de enseñanza-aprendizaje que se pretenden alcanzar por medio del sistema anterior. En la sección 4 se presenta el programa de actividades que llevará a los estudiantes a alcanzar estos objetivos y los resultados obtenidos durante la realización de la experiencia piloto. Finalmente, la última sección está dedicada a presentar las conclusiones finales y la propuesta de mejoras para los próximos cursos.

II. SISTEMA SEMÁNTICO PARA LA GESTIÓN DE RECURSOS DOCENTES

En esta sección se introduce el sistema software desarrollado para gestionar los recursos docentes encontrados desde una perspectiva semántica. En primer lugar se realiza una descripción funcional del sistema y, posteriormente, se describe la arquitectura del mismo.

A. Descripción functional del sistema

Partiendo de la guía docente de la asignatura y del material docente que se utiliza en su impartición (por ejemplo, las transparencias en formato PDF de las lecciones que se imparten durante las sesiones teóricas en el aula) el sistema automáticamente creará un grafo semántico con los principales conceptos que debe aprender un estudiante en la asignatura y las relaciones entre esos conceptos. Este grafo será la piedra angular de un sistema donde los dos actores involucrados serán estudiantes y profesores, como se describe a continuación.

Si un estudiante encuentra en Internet un recurso (un video, un documento en formato textual, una aplicación o página web, etc.) que considera que puede ser de interés para el proceso de enseñanza-aprendizaje de la asignatura, el sistema catalogará ese recurso en base a los conceptos del grafo semántico de la asignatura. En otras palabras, analizará con qué conceptos de la asignatura están más relacionados los contenidos del recurso y establecerá esa relación entre ambos. El objetivo final, a medio y largo plazo, es disponer de un amplio catálogo de recursos de interés clasificados en base a los conceptos del grafo semántico.

Los estudiantes matriculados en la asignatura no sólo participan en la búsqueda de nuevos recursos, sino que podrán acceder en todo momento al material ya existente, aplicando criterios de búsqueda sobre el grafo. El sistema también incorpora una herramienta para valorar el interés y la utilidad de los recursos almacenados. De esta manera, cuando un estudiante acceda a un recurso docente (por ejemplo, a un vídeo que le ayude a profundizar en el aprendizaje de un concepto presentado en el aula) podrá puntuar en qué medida este recurso le ha resultado útil en su aprendizaje. Obviamente, estas valoraciones abren un abanico de posibilidades futuras desde el punto de vista del sistema (pueden ser de utilidad para mejorar los resultados de búsqueda de recursos, por ejemplo, priorizando los recursos mejor valorados) o desde el punto de vista del

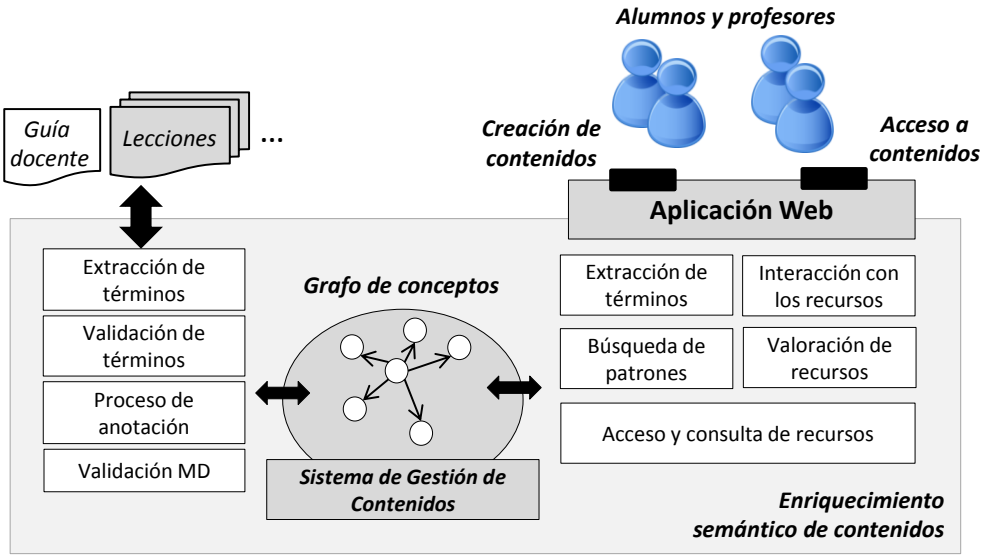


Figura 1: Arquitectura del sistema software

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

propio proceso de enseñanza-aprendizaje (los estudiantes tratarán de aportar recursos que sean bien valorados por sus compañeros e, incluso, el profesor puede utilizar estas valoraciones para inferir el nivel de participación o el interés de sus estudiantes y la utilidad del material aportado por ellos).

Por otro lado, los profesores de la asignatura también podrán aportar al sistema los recursos docentes que consideren de interés. Además, dispondrán de herramientas que les ayuden a controlar la utilidad de los recursos aportados por sus estudiantes y gestionarlos de forma adecuada para mantener unos mínimos de calidad en el repositorio. El sistema también les facilitará analíticas sobre la participación de los estudiantes y la calidad en base a las valoraciones de los recursos que estos aporten.

B. *Arquitectura del sistema*

La figura 1 muestra la arquitectura del sistema software que se ha desarrollado para dar soporte a la experiencia docente. La parte izquierda del sistema representa los componentes software utilizados inicialmente para crear el grafo semántico que describe los conceptos de la asignatura y sus relaciones. Mientras que, la parte derecha representa las interfaces que ofrece el sistema a sus usuarios (estudiantes y profesores) para crear, acceder y valorar los recursos que gestiona, así como los componentes software que son requeridos para dar soporte a esta funcionalidad.

Dada una asignatura, el primer paso es la creación de su *grafo semántico de conceptos*. Este grafo es la piedra angular del sistema. Para la creación del grafo los profesores deben facilitar como entrada al sistema el material que han elaborado para la asignatura, como la guía docente de la asignatura y las lecciones que impartirán en clase (por ejemplo, como documentos WORD o PDF). Internamente, el sistema analizará estas entradas y extraerá los términos (o conceptos) más relevantes [9]. Esta funcionalidad se implementa utilizando *Java Automatic Term Extraction toolkit* (JATE[1]). Los profesores de la asignatura filtrarán y validarán la lista de términos extraída antes de proceder a anotar semánticamente cada uno de esos términos y establecer sus relaciones a través del grafo de conceptos. El proceso de filtrado se programa utilizando *PYBOSSA*[2] y los términos se describen semánticamente por medio del estándar RDF (*Resource Description Framework*[3]) utilizando la *DBpedia* como ontología de referencia. Este proceso de anotación está basado en el algoritmo *ADEGA* [10].

Por otro lado, una vez creado el grafo semántico de conceptos, el sistema ofrece su funcionalidad a través de una interfaz web (parte derecha de la figura). Esta interfaz facilita a profesores y estudiantes la creación de nuevos contenidos o el acceso a los contenidos existentes. El acceso a esta interfaz se realiza a través de las plataformas integradas en el *Anillo Digital Docente* de la Universidad de Zaragoza, más concretamente, a través de la plataforma *Moodle 2*.

Cuando un usuario suministra un nuevo recurso docente al sistema, el contenido del recurso se analiza para extraer los términos relevantes (*extracción de términos*). Estos términos se asocian (si es posible) con los conceptos existentes en el grafo semántico (*búsqueda de patrones*), estableciendo de esta manera la relación entre los contenidos del nuevo recurso y los conceptos de la asignatura. Finalmente, el recurso (o la referencia a la ubicación del recurso) y su información semántica se almacenan en el sistema (*acceso a recursos* a través del *sistema de gestión de contenidos*). Los componentes que intervienen en este proceso se basan en JATE y en algoritmos de correspondencia e inferencia semántica relacionados con ADEGA.

Por otro lado, los usuarios pueden usar los conceptos del grafo semántico para acceder a los recursos docentes ya existentes (*interacción con los recursos*). Estos conceptos actúan como palabras clave que guían el proceso de búsqueda y recuperación. El usuario se puede descargar los recursos en los que tiene interés y, posteriormente, los puede valorar individualmente (*valoración de los recursos*). También es posible acceder a las valoraciones realizadas por otros usuarios. Este último subsistema también se basa en tecnología de *PYBOSSA*.

III. Objetivos relativos al proceso de enseñanza-aprendizaje

Esta experiencia docente pretende que los estudiantes que cursen la asignatura alcancen un nivel de aprendizaje más profundo. Desde una perspectiva metodológica, los propios estudiantes se sitúan en el centro del proceso de enseñanza-aprendizaje de la asignatura, convirtiéndose en aliados de la innovación docente. Este modelo de experiencia está alineado directamente con las líneas estratégicas de actuación del Campus de Excelencia Internacional Iberus[4], del cual forma parte la Universidad de Zaragoza.

Por otro lado, desde un punto de vista más instrumental, dos elementos resultan claves en la consecución del objetivo de la experiencia: primero, el sistema software descrito, como una herramienta que va a facilitar a los estudiantes el *acceso a un amplio abanico de recursos* que le serán de utilidad para adquirir los conocimientos esperados (incluso, en un futuro estos recursos serán los aportados por estudiantes de diferentes cursos, enriqueciendo aún más el sistema final); y, segundo, un *programa de actividades* basado en la herramienta y dirigido a los estudiantes que pretende alentar ciertos comportamientos que reporten un beneficio directo en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Obviamente, como parte de la experiencia de innovación se definirán los medios para estimar el beneficio alcanzado por los estudiantes que cursan el programa de actividades.

A continuación se introducen algunos de los beneficios directos que se consideran alcanzables como resultado de la experiencia de innovación. En primer lugar, *el sistema debe ser un instrumento de motivación* para que los estudiantes participen de forma activa en el proceso de aprendizaje. La búsqueda guiada de nuevos recursos les debe servir para comprender y profundizar en los contenidos de la asignatura. Por otra parte, el hecho de que los recursos encontrados puedan ser de utilidad a otros compañeros debe ser un estímulo y un reconocimiento a su implicación en el proceso. Obviamente, esta implicación también se puede valorar desde el punto de vista de la evaluación de la asignatura.

Además, esa motivación debe conducir a los estudiantes a que se impliquen en el día a día de la asignatura y, por lo

[1] JATE, https://code.google.com/p/jatetoolkit/
[2] PYBOSSA, http://pybossa.com/
[3] RDF, http://www.w3.org/RDF/
[4] http://www.campusiberus.es/

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

tanto, su *ritmo de aprendizaje se ajuste al ritmo de las actividades docentes* programadas por el profesor (actividades en el aula, en el laboratorio, o por medio de trabajos de naturaleza no presencial). Este ajuste favorecerá que los estudiantes alcancen los resultados de aprendizaje previstos en las distintas actividades, provocando un efecto positivo en todos los aspectos relacionados con la asignatura.

Por último, una parte importante del programa de actividades pretende fomentar que los estudiantes accedan a recursos publicados por otros compañeros y tengan la posibilidad de valorarlos aplicando técnicas de evaluación por pares [11]. Algunas de las técnicas concretas que podrían ser de utilidad fueron discutidas en [12]. Estas evaluaciones estarán guiadas y supervisadas por los profesores y se focalizan en dos puntos de vista: primero, si los contenidos del recurso docente están bien catalogados con respecto el grafo semántico de conceptos de la asignatura; y, segundo, si el recurso le ha resultado de utilidad para comprender o profundizar en los conceptos con los que está vinculado. En cualquier caso, este esfuerzo por evaluar los recursos existentes no sólo repercutirá en sus conocimientos directos sobre los conceptos de la asignatura, sino que también *potenciará una serie de competencias como el análisis crítico, el debate, o la defensa de opiniones propias*. Estas competencias reportan un beneficio inmediato en el objetivo de conseguir aprendizajes más profundos.

IV. Plan de actividades

En esta sección se describe el plan de actividades programado en el marco de esta experiencia docente. Se presta especial atención a la organización y estructura general de las actividades, así como a la descripción de la experiencia piloto desarrollada durante el curso 2014-15.

A. Organización y estructura de la actividad

Para la realización de una actividad concreta los estudiantes se organizan en grupos de tres personas. Inicialmente, a cada grupo se le asigna un tema de interés relacionado con el curso. Dada la amplia variedad de tipos de recursos existentes en la Red (vídeos, presentaciones, documentos, aplicaciones web, etc.), a cada estudiante del grupo se le asigna un par <*tema, tipo de recurso*>. De esta forma, se pretende que todos los integrantes del grupo intervengan activamente en el proceso de búsqueda de recursos docentes, segmentando dicho proceso por el formato de los recursos a buscar.

Una vez determinado el tema concreto la actividad consta de tres fases secuenciales en el tiempo. El estudiante participa en las dos primeras fases, mientras que los docentes lo hacen en las dos últimas (es decir, en la segunda fase participan los dos tipos de actores, aunque sin una interacción directa entre ellos como se describe a continuación).

Durante la Fase 1, los estudiantes buscan recursos que puedan ser de interés desde el punto de vista del aprendizaje del tema asignado. Después de una primera búsqueda realizada de forma individual (en base al tipo de recurso asignado a cada estudiante), el grupo debe consensuar qué recursos de los encontrados va a añadir al sistema y clasificar semánticamente esos recursos conforme el grafo de conceptos y relaciones de la asignatura. Además, el grupo también deberá elaborar dos documentos adicionales: primero, un sencillo guión que defina en qué orden un estudiante debería consultar los recursos suministrados para profundizar en ese tema (este documento también estará disponibles a través del sistema); y, segundo, un listado de los recursos encontrados, pero descartados, con una breve justificación de la decisión.

En la Fase 2, los estudiantes deberán trabajar con los recursos encontrados por los otros grupos. El objetivo es que continúen su proceso de aprendizaje autónomo y, por medio de un método de evaluación por pares guiado, valoren el trabajo realizado por sus compañeros en la fase anterior. En este sentido, primero deben acceder a los recursos suministrados por el grupo que creó el tema siguiendo el guión; una vez hayan trabajado esos recursos y profundizado en sus contenidos, deben valorar su utilidad respondiendo a cuestiones como: ¿está el contenido de los recursos publicados bien clasificado semánticamente respecto el grafo de conceptos y relaciones de la asignatura?, ¿son de interés los recursos para el aprendizaje de ese tema?, ¿en qué medida los contenidos profundizan en el tema?, etc. En paralelo, los profesores de la asignatura valorarán el trabajo de los grupos en la primera fase, prestando atención no sólo a los recursos creados, sino también a los descartados. Esta valoración ayudará a tener una idea clara de qué temas fueron bien preparados y si sus recursos son de interés (no sólo para este curso, sino también para ediciones siguientes). Además, los profesores también responderán a las mismas cuestiones que se plantean a los estudiantes en la evaluación por pares de esta fase. El propósito es crear una valoración de referencia.

Finalmente, en la Fase 3, los profesores utilizarán sus valoraciones de referencia para evaluar el trabajo de los estudiantes en la segunda fase de la actividad (como evaluadores de sus compañeros). Las valoraciones de los recursos asociados a un tema son un indicador de su utilidad en el proceso de enseñanza-aprendizaje. En un futuro el sistema software podría utilizar estas valoraciones para priorizar unos recursos respecto a otros en los procesos de búsqueda y recuperación de contenidos que implementa. Además de las valoraciones previas, las conclusiones de los estudiantes y de los propios profesores se utilizarán para mejorar los procesos de clasificación semántica de los recursos [13] y para filtrar recursos que no sean de utilidad en el aprendizaje de los temas.

Obviamente, el esfuerzo de los estudiantes tiene que reflejarse en su calificación final en la asignatura. Durante el presente curso, esta actividad constituye un 10% de la nota final de la asignatura y su calificación particular depende de tres factores. En primer lugar se valora la idoneidad de los contenidos creados para introducir o profundizar un tema y del guión elaborado para trabajar con ellos. Este factor se califica por igual a todos los estudiantes de un mismo grupo y presta especial atención a la rigurosidad en la búsqueda de recursos, la catalogación semántica de los recursos seleccionados y las decisiones adoptadas en torno a utilizar unos recursos u otros. En segundo lugar se valora el trabajo de evaluación que realiza individualmente cada estudiante durante la segunda fase de la actividad. La valoración de referencia de los profesores se contrasta con la valoración aportada por los estudiantes para cada tema concreto como medida que permita estimar lo adecuado de las evaluaciones realizadas. Finalmente, el tercer factor es la evaluación que recibe de sus compañeros la propuesta ordenada de recursos

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

realizada por un grupo, es decir, la valoración media que los estudiantes hacen del trabajo de búsqueda y clasificación de recursos realizados por un grupo. Este factor, por tanto, también se califica por igual para cada componente de un grupo.

B. Realización de una experiencia piloto

En esta sección se expone brevemente cómo se ha puesto en marcha el modelo de actividad previo en la asignatura de "*Diseño centrado en el usuario. Diseño para la multimedia*". Esta asignatura tiene carácter obligatorio en la especialidad de "*Tecnologías de la Información*" del Grado de Ingeniería Informática y se imparte durante el octavo semestre de la titulación (semestre de primavera). La actividad presentada corresponde al trabajo no presencial que deben realizar los estudiantes en el marco de la asignatura.

En el curso 2014-15 hubo matriculados 16 estudiantes, organizados en 6 grupos diferentes (más concretamente, se formaron 4 grupos de 3 estudiantes y 2 grupos de 2). Durante el semestre, cada grupo abordó un tema diferente. Los seis temas propuestos fueron: "Metodologías ágiles en UX", "Diseño participativo", "*Crowdsourcing*", "Verificación de la usabilidad y herramientas útiles", "Herramientas para evaluación de la accesibilidad" e "Interfaces portables o *weareables*". La elección de los temas por parte de los grupos fue en base a sus preferencias, siendo resueltos los conflictos conforme el orden temporal en que fueron recibidas esas preferencias.

En esta primera experiencia piloto el tiempo total para realizar la actividad completa fue de tres meses y medio, repartido de la siguiente manera. Para la realización de la primera fase los grupos dispusieron de un mes y medio, más concretamente: el primer mes lo dedicaron a buscar recursos y clasificarlos y los siguientes 15 días a reunirse con el resto de su grupo para completar el trabajo de esta fase (revisar de formar conjunta los recursos elegidos y armar el guión de los recursos). Durante el siguiente mes y medio del curso cada estudiante completó la segunda fase de la actividad, es decir, evaluó individualmente los 5 temas generados por los otros grupos. Finalmente, el profesor dispuso de 15 días (antes de la finalización del periodo de clases) para completar la tercera fase y realimentar a los estudiantes sobre el desarrollo de la actividad.

En esta primera experiencia todos los grupos dispusieron del mismo tiempo para realizar las actividades. Sin embargo, en el futuro, se estima conveniente que la generación de los recursos y guiones se realice atendiendo a la planificación de la exposición (o necesidad de utilización) de esos temas en clase, con lo cual los estudiantes deberán tener en cuenta el plazo de entrega (y por tanto, el tiempo para desarrollarlo) a la hora de seleccionar los diferentes temas.

Por otro lado, resultaba complejo estimar a priori el esfuerzo que iban a invertir los estudiantes en el desarrollo de esta primera experiencia. Es más, dada la amplia variedad de recursos existentes en Internet, un estudiante motivado podría llegar a invertir un esfuerzo muy superior al que debería considerando la carga de trabajo estipulada en las actividades no presenciales de la asignatura. Con el fin de tener datos fiables sobre lo que costaba realizar cada parte del trabajo (búsqueda, clasificación y elaboración del guión en la fase 1 y lectura y evaluación de cada tema en la fase 2), y de detectar y evitar esfuerzos desmesurados por parte de los estudiantes, se utilizó un sistema de gestión de esfuerzos. Este sistema facilitaba que para cada tarea programada los estudiantes detallasen la fecha y el número de horas que habían dedicado.

Por último, además de los resultados directos de la propia actividad, también se consideraba de interés conocer la opinión de los estudiantes acerca del desarrollo de la experiencia: los aspectos positivos y negativos de la actividad, tiempo dedicado, en qué medida consideran que esta experiencia ha contribuido en su aprendizaje, cómo creen que podría ser mejorable, y en qué otras asignaturas del grado consideran que sería interesante aplicar experiencias similares, entre las cuestiones principales. El método elegido para recolectar estas opiniones fue por medio de formularios de opinión.

C. Resultados de la experiencia

La figura 2 presenta un resumen de los resultados e indicadores de la actividad. La información está estructurada en tres bloques. Los dos primeros bloques ofrecen una visión del trabajo realizados por los estudiantes durante la Fase 1 y 2 de la actividad. El interés se focaliza en describir los recursos con los que trabajaron, la contextualización de estos recursos en el grafo de conceptos, y la valoración del material suministrado por los compañeros. El tercer bloque proporciona una medida del esfuerzo dedicado por los estudiantes a las distintas fases de la actividad programada.

Respecto a la Fase 1, la primera fila de la tabla representa el número de recursos encontrados por cada grupo en la etapa de búsqueda (los profesores de la asignatura habían recomendado que cada estudiante del grupo aportara en torno a 6-8 recursos). Las herramientas utilizadas para encontrar estos recursos fueron principalmente el buscador de *Google*, *Google Scholar*, *YouTube* (el 30% de los recursos encontrados son vídeos), y *DuckDuckGo*. A continuación se resumen algunas cuestiones interesantes sobre los recursos encontrados: el 60% de los recursos estaban en inglés, y el resto mayoritariamente en castellano; el tema asignado a cada grupo tiene una influencia directa en el tipo de recurso encontrado (por ejemplo, los recursos relativos al tema de la usabilidad o accesibilidad eran mayoritariamente páginas Web o herramientas que ofrecían ejemplos ilustrativos de buenas o malas prácticas, mientras que en el caso de los dispositivos *wearables* eran vídeos donde se explicaban los dominios de aplicación de estas tecnologías y documentos que contenían especificaciones técnicas); y un número significativo de estos recursos contenían opiniones personales no validadas (muchas de las páginas Web era foros de opinión o discusión, o blogs personales).

Una vez finalizado el proceso de búsqueda, cada grupo seleccionó 7 recursos y los catalogó semánticamente en base al grafo de conceptos de la asignatura. La sexta fila de la tabla (*Media conceptos/recurso*) determina el número medio de conceptos que utilizó cada grupo para catalogar un recurso. En esta primera experiencia los profesores decidieron dar libertad a los grupos en la tarea de catalogación. Resulta llamativo que hay grupos que prácticamente asocian a cada recurso un único concepto del grafo (el grupo de "Metodologías Ágiles UX"), mientras que otros grupos realizan una catalogación más exhaustiva ("Accesibilidad" y "Diseño Adaptativo"). En principio resulta difícil definir una regla de catalogación única que sirva para los distintos tipos de recursos con los que trabajan los grupos. En cualquier caso, esta regla estará condicionada

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

por el nivel de eficacia de la herramienta de búsqueda integrada en el sistema, es decir, ¿la herramienta es capaz de encontrar los recursos más adecuados utilizando la catalogación proporcionada por los estudiantes?. Cuando en un futuro se dispongan de indicadores de uso de la funcionalidad de búsqueda se valorará la posibilidad de establecer criterios más rígidos en el proceso de catalogación.

En la Fase 2, los estudiantes evalúan los recursos publicados y catalogados por el resto de grupos. Esta evaluación está guiada por una rúbrica proporcionada por los profesores. La fila *Valoración estudiantes* representa la valoración media (entre 0 y 10 puntos) que los estudiantes hicieron de los recursos proporcionados por un grupo, por ejemplo en la primera columna se observa que los estudiantes valoraron el trabajo hecho por el grupo de "Metodologías Ágiles" con un 8,6 sobre 10 puntos. Esta evaluación es contrastada con la valoración de referencia realizada por los profesores utilizando la misma rúbrica (fila *Valoración profesor*). A modo de conclusión, las puntuaciones de estudiantes y profesores muestran que existe una percepción común en relación a los resultados obtenidos por los distintos grupos. Por otro lado, otra cuestión importante de esta segunda fase es los cambios en la catalogación de los recursos que proponen los estudiantes. En este sentido, los grupos de "Accesibilidad" y "Diseño Adaptativo" fueron los que sufrieron más propuestas de cambio (16 y 12, respectivamente). Casualmente estos grupos fueron los que realizaron una catalogación más exhaustiva de los recursos seleccionados en la fase anterior (casi 4 conceptos del grafo por cada recurso). Además, un análisis pormenorizado del tiempo invertido por estos dos grupos en la catalogación de sus recursos ha detectado que fueron concretamente el que menos ("Accesibilidad") y más ("Diseño Adaptativo") tiempo dedicó. Esto puede significar que el primer grupo no prestó la atención que requería esta tarea, y el segundo tuvo dudas y/o problemas sobre cómo realizarla y qué conceptos elegir en cada caso.

	Metodologías Ágiles UX	Usabilidad	Accesibilidad	Crowdsourcing	Diseño Adaptativo	Wearables	
Num. recursos encontrados	15	25	23	18	18	11	**Fase 1**
Número de vídeos	7	6	4	6	2	5	
Número de documentos	1	6	8	4	3	6	
Número de páginas Web	5	8	4	8	11	0	
Número de herramientas	2	5	7	0	2	0	
Media conceptos/recurso	1,06	2,45	3,4	2,3	3,9	1,9	
Cambios anotación	1	4	16	1	12	4	**Fase 2**
Valoración estudiantes	8,6	7,1	7,9	7,3	6,2	8,5	
Valoración profesor	8	6	9	7,5	5	9	
Horas/estudiante (Fase 1)	5,3	2,75	4,25	1,4	5,8	4,25	**Esfuerzos**
Horas/estudiante (Fase 2)	4,4	3,9	1,4	4,2	4,5	1,5	
Horas/grupo (Actividad)	29,2	20	11,3	16,8	30,8	11,5	

Figura 2: Indicadores de la actividad

Por último, la tabla también muestra el esfuerzo que dedicaron los estudiantes de cada grupo a las distintas fases. Estos datos evidencian una disparidad de dedicación entre los diferentes grupos. Los estudiantes de determinados grupos a priori no dedicaron casi esfuerzo a la búsqueda y selección de recursos (por ejemplo, el grupo de "Crowdsourcing") o a la evaluación de sus compañeros ("Accesibilidad" y "Wearables"). Esta situación resulta tan llamativa que llevó a los profesores a preguntar directamente a los estudiantes sobre la validez de los datos de esfuerzo que habían entregado. En algunos casos, los datos no eran fiables: los estudiantes reconocen que no están acostumbrados a controlar el tiempo que dedican a sus tareas y con frecuencia olvidaban hacerlo, o simplemente estimaban lo que creían que les había costado. Por lo tanto, estos indicadores de esfuerzo hay que interpretarlos con cautela y, de cara a futuras experiencias, realizar las acciones correctoras oportunas.

D. Conclusiones y valoración de la experiencia por parte de estudiantes y profesores

Esta sección resume la valoración de la experiencia por parte de los estudiantes y las conclusiones finales obtenidas por los profesores. Esta información ha sido utilizada para elaborar un plan de actuación y mejora que será puesto en marcha durante el próximo curso.

Los estudiantes valoraron la experiencia de innovación docente por medio de una encuesta de opinión. Esta encuesta constaba de cinco afirmaciones que debían puntuar con un valor entero entre 1 (totalmente de acuerdo) y 5 (totalmente en desacuerdo). El objetivo era conocer en qué medida estaban satisfechos con el trabajo que habían realizado y los resultados obtenidos, y si consideraban que habían dedicado el esfuerzo necesario. La figura 3 muestra los resultados de la encuesta. La columna *Valoración global* (en color gris) representa la puntuación media de todos los estudiantes para cada una de las afirmaciones; mientras que en resto de columnas (en blanco) son las puntuaciones medias de los estudiantes de cada grupo. En general, los estudiantes están satisfechos con su trabajo. Las dos cuestiones donde son más críticos son en la utilidad de la tarea de búsqueda de materiales en la Red y la elaboración de un guion que determine el uso de estos materiales. Estas valoraciones menos positivas se pueden deber a la combinación de dos factores: los profesores no establecieron pautas concretas sobre cómo realizar estas dos tareas (se apostó por dar libertad a los estudiantes en esta primera experiencia), y los estudiantes no están acostumbrados o formados para realizar correctamente estas tareas (principalmente la segunda de ellas). Por otro lado, las puntuaciones del grupo de "Usabilidad" llaman la atención (el mismo valor medio para todas las afirmaciones de la encuesta). No obstante, se comprobó que las puntuaciones individuales de los estudiantes del grupo eran diferentes, aunque las medias coincidieran.

	Valoración global	Metodologías ágiles	Diseño adaptativo	Usabilidad	Accesibilidad	Wearables	Crowdsourcing
La experiencia me ha servido para aprender a buscar nuevos materiales	2,25	2,33	2	2,33	3,5	3	1
He dedicado el tiempo suficiente como para generar el material adecuado conforme los objetivos de la actividad	1,94	2	1,67	2,33	2	1,5	2
El material que he buscado y seleccionado tiene calidad suficiente	1,81	2,67	2	2,33	1,5	1	1,67
Estoy conforme con el material seleccionado por mi grupo a partir del material que yo he aportado	1,56	2	1,67	2,33	1	1	1,67
Considero que el resultado de la fase de trabajo en grupo ha permitido armar un guion coherente del tema	2	2	2	2,33	2	2,5	2

Figura 3: Puntuaciones de la encuesta de opinión de los estudiantes

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Por otro lado, una vez concluida la experiencia los profesores han analizado su desarrollo y los resultados obtenidos con respecto los objetivos que se establecieron inicialmente. De forma resumida, las siguientes conclusiones han sido extraídas: el grafo semántico de conceptos utilizado para etiquetar los recursos docentes seleccionados estaba formado por términos demasiado generales (aunque sea un grafo más denso, se debería enriquecer con términos más especializados y próximos a los temas que trabajan los estudiantes); un número significativo de los recursos seleccionados por los estudiantes contienen opiniones personales no validadas o son "efímeros" (deberían fijarse pautas más concretas sobre qué tipos de recursos deben ser considerados y seleccionados); los estudiantes han gozado de demasiada libertad a la hora de realizar determinadas tareas, por ejemplo, las tareas de búsqueda y selección de recursos y la tarea de elaborar el guion (deberían programarse una serie de seminarios de formación previos que les guíe e instruya en cómo afrontar estos trabajos); no todos los temas resultaron igual de motivantes para todos los estudiantes (deberían modificarse los criterios que se aplicaron e, incluso, valorar la posibilidad de que sean los propios estudiantes los que propongan sus propios temas, siempre que estén alineados con los contenidos de la asignatura); y, finalmente, algunas evaluaciones individuales de la fase 2 son cuestionables porque los estudiantes no dedicaron el tiempo suficiente, no estaban entrenados para realizar este tipo de actividad, y no era un proceso completamente ciego (debería programarse una actividad que enseñe a los estudiantes a evaluar recursos y mejorar el propio proceso de evaluación para que sea lo más independiente posible).

V. Conclusiones

En este artículo se ha presentado una experiencia de innovación que tiene como objetivo principal involucrar a los estudiantes en el proceso de búsqueda y elaboración de su propio material docente. La experiencia combina el uso de técnicas participativas y colaborativas, mecanismos de evaluación por pares, y tecnologías de la Web Semántica. Esta combinación aspira a mejorar el proceso de aprendizaje de los estudiantes e incrementar su motivación por la asignatura objeto de la experiencia. Estos objetivos han sido validados en una asignatura de último curso del Grado de Ingeniería en Informática.

En general, los resultados obtenidos en esta primera experiencia han sido satisfactorios. No obstante, el análisis final hace recomendable determinadas mejoras de cara a futuros cursos, como fue discutido en la última sección. En cualquier caso, el proyecto piloto ha derivado en una serie de beneficios inmediatos. Por un lado, ha impulsado el desarrollo de un sistema software que va a ofrecer a los estudiantes un repositorio de material docente específico y de utilidad para cursar la asignatura y a los profesores una herramienta para el desarrollo de ciertas actividades docentes. Considerando el tipo de actividades no presenciales que se realizan en otras asignaturas del grado y del posterior máster, este sistema podría ser directamente exportable a otras asignaturas en próximos cursos. Por otro lado, las actividades han tenido un impacto positivo en el aprendizaje de los estudiantes. La participación activa en las dos primeras fases de la actividad ha potenciado la adquisición de nuevos conocimientos o la profundización de conocimientos ya introducidos en otras actividades de la asignatura. Además, los procesos de evaluación han sido una herramienta útil para trabajar su capacidad de análisis crítico. Por último, no debe despreciarse el hecho de que los estudiantes han trabajado otro tipo de capacidades transversales para completar la actividad: trabajo en equipo, se han enfrentado a material en inglés, han sido capaces de organizarse y gestionar de forma efectiva su tiempo de trabajo, o incluso han elaborado documentación que pretendía ser una herramienta de trabajo útil para otros compañeros (por ejemplo, los guiones de consulta de un tema determinado). Al final, los estudiantes se han sentido en mayor medida partícipes del transcurso de la asignatura y eso ha aumentado su motivación.

De cara al siguiente curso se van a introducir una serie de novedades en la experiencia docente. En primer lugar, los estudiantes tendrán que preparar y grabar en formato audiovisual una clase de corta duración (entre 5 y 7 minutos), en vez de elaborar un guion textual que coordine el uso de los recursos seleccionados. Por otro lado, el proceso de anotación semántica de los recursos seleccionados será automático, en vez de manual. Este etiquetado estará basado en tecnologías semánticas y de *Linked-data* existentes, y será integrado en el sistema software actual. Y, finalmente, se está estudiando la posibilidad de desarrollar un novedoso sistema que estime en qué medida un estudiante está evaluando correctamente el trabajo de sus compañeros.

Agradecimientos

Este trabajo de innovación docente ha sido financiado por los proyectos PRAUZ_14_054 y PIIDUZ_15_175 de la Convocatoria de Innovación Docente de la Universidad de Zaragoza.

Referencias

[1] H. Qing Yu, C. Pedrinaci, S. Dietze, and J. Domingue, "*Using linked data to annotate and search educational video resources for supporting distance learning*". IEEE Transactions on Learning Technologies, vol. 5(2), pp. 130-142, 2012.

[2] S. Dehors, C. Zucker, and R. Kuntz, "*Reusing learning resources based on Semantic Web technologies*". The 6th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT). IEEE Computer Society, pp. 859-863, 2006.

[3] M. Trucano, *Knowledge Maps: ICTs in Education*. ICT and Education Series, 2005.

[4] A. Cañete, D. Garijo, and R. Pérez, "*Enseñanza basada en contenidos: una experiencia para el desarrollo de competencias del EEES en grados en Ingeniería Informática"*. En actas de las XVIII Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática, JENUI 2012, pp. 65-72, Ciudad Real, 2012.

[5] M. Marqués Andrés, J. M. Badía Contelles, and E. Martínez-Martín, "*Una experiencia de autoevaluación y evaluación por compañeros"*. En actas de las XIX Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática, JENUI 2013, pp. 93-100, Castellón, 2103.

[6] M. Zorrilla, "*Desarrollo de las habilidades de escritura y trabajo colaborativo utilizando herramientas en la nube"*. En actas de las XIX Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática, JENUI 2013, pp. 3-10, Castellón, 2103.

[7] R. Olanda, R. Sebastián, and J. Ignacio Panach, "*Aprendizaje colaborativo basado en tecnologías multimedia"*. En actas de las XX Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática, JENUI 2014, pp. 395-402, Oviedo, 2014.

[8] E. Sánchez Nielsen, "*Enseñanza y Aprendizaje: Metodología y Resultados Creaciones de Contenidos Audiovisuales producidos por los Estudiantes como nuevo Instrumento en el Proceso de la Enseñanza y Aprendizaje: Metodología y Resultados"*. En Actas XVIII Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática, JENUI 2012, pp. 223-230, Ciudad Real, 2012.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

[9] Z. Zhang, J. Iria, C. Brewster, and F. Ciravegna, "*A Comparative Evaluation of Term Recognition Algorithms"*. International Conference on Language Resources and Evaluation LREC 2008. pp. 2108-2113.

[10] M. Lama, J.C. Vidal, E. Otero-García, A. Bugarín, and S. Barro. "*Semantic linking of learning object repositories to dbpedia"*. Educational Technology & Society, vol. 15(4), pp. 47-61, 2012.

[11] T.S. Roberts, *Self, peer and group assessment in e-learning*. IGI Global, 2006.

[12] C. Blanco, and P Sánchez, "*Aplicando Evaluación por Pares: Análisis y Comparativa de distintas Técnicas"*. En actas de las XVIII Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática, JENUI 2012, pp. 1-8, Ciudad Real, 2012.

[13] I. Hsiao and P. Brusilovsky, "*Modeling peer review in example annotation*", The 16th International Conference on Computers in Education (ICCE 2008), pp. 357-362, 2008.

Pedro Álvarez es profesor en la Universidad de Zaragoza desde el año 2000, concretamente, en el Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Es Doctor en Ingeniería en Informática desde el año 2004 y, en la actualidad, dirige el grupo de I+D en Computación Distribuida (DisCo) de la Universidad de Zaragoza.

Su investigación se centra en torno a la propuesta de soluciones a problemas computacionalmente complejos utilizando infraestructuras híbridas de computación (clúster, grid y cloud). Los resultados de su trabajo se han aplicado en el contexto de la Web semántica, la bioinformática, la inteligencia de negocio y, recientemente, el *e-learning*. El interés en este último campo de aplicación le ha llevado a participar estos últimos años en diez proyectos de innovación docente. En general, los resultados de su investigación están avalados por más de un centenar de publicaciones en revistas y congresos internacionales y nacionales de referencia en su campo de trabajo. Además, ha participado en una treintena de proyectos de I+D+I de convocatorias regionales, nacionales y europeas, así como en proyectos de transferencia tecnológica a la Administración Pública y a empresas privadas de índole nacional.

Sandra Baldassarri (M'99–SM'03) es licenciada en Ciencias de la Computación por la Universidad de Buenos Aires (Argentina) y doctora en Ingeniería Informática por la Universidad de Zaragoza (España) en 2004. Desde 1996 es profesora en el Área de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad de Zaragoza (España), actualmente como Contratada Doctora. Es miembro fundadora del grupo de investigación GIGA AffectiveLab y miembro del Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A), ambos de la Universidad de Zaragoza.

Sus áreas de investigación incluyen la interacción persona-ordenador, computación afectiva, las interfaces multimodales, las interfaces naturales y tangibles, los personajes virtuales emocionales, las diferentes técnicas de interacción aplicadas a la educación y, en particular a la educación especial. En estas áreas de trabajo ha publicado numerosos artículos en revistas y congresos, tanto nacionales como internacionales; y es revisora habitual de revistas y conferencias del ámbito de la IPO. Ha participado en gran cantidad de proyectos de investigación, como en proyectos de innovación docente, tanto en el ámbito regional, como nacional e internacional.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Capítulo 7

Experimentando y Aprendiendo Física con Smartphones

Miguel Á. González, Juarez B. da Silva *Member, IEEE*, Óscar Martínez, Willian Rochadel y Manuel Á. González

***Title*—Doing experiments and learning physics with smartphones**

***Abstract*— For a better understanding and learning physics students need practical experimentation as much as teachers' theoretical explanations. Sometimes experimental equipment costs or time availability limit the students work in the laboratory. Current smartphones are powerful calculation devices with built-in sensors which can be used as measurement tools in many simple physics experiments by replacing more expensive laboratory equipment and also allow the students to do experiments by themselves along everyday activities increasing students' autonomous work and engagement. In this work we describe briefly some experiments performed with smartphones and discuss their results and learning interest.**

***Index Terms*— Educational technology, Physics education, Engineering education: Student experiments, ElectromechanKELical sensors, Low cost laboratories**

***Abstract*— Para entender y aprender mejor física, los estudiantes necesitan explicaciones teóricas y realizar experimentos por ellos mismos. Algunas veces, condicionantes económicos o temporales limitan el trabajo de los alumnos en el laboratorio. Los dispositivos móviles actuales poseen una elevada capacidad de cálculo e incluyen sensores que pueden ser utilizados como dispositivos de medida en experimentos sencillos, reemplazando equipamiento más caro. También permiten que los alumnos realicen experimentos por sí mismos en situaciones cotidianas, favoreciéndose su trabajo autónomo e interés por la asignatura. En este trabajo se describen brevemente algunos experimentos sencillos realizados con smartphones y se discuten sus resultados.**

Este trabajo fue presentado originalmente en el 2015 International Conference Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality.

Miguel Á. González catedrático del Departamento de Física de la Materia Condensada de la Universidad de Valladolid, España (e-mail mrebollo@eii.uva.es).

Juárez B. da Silva, profesor de la Universidade Federal de Santa Catarina, RexLab, Brasil (email: juarez.b.silva@ieee.org).

Ó. Martínez, profesor titular del Departamento de Física de la Materia Condensada, Universidad de Valladolid, España (e-mail: oscar@fmc.uva.es).

Willian Rochadel, RexLab, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil (e-mail: willian.rochadel@ufsc.br)

Manuel Á. González, profesor titular del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Valladolid (autor para correspondencia, email: manuelgd@termo.uva.es)

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Universidad de Valladolid (España) dentro de los Proyectos de Innovación Docente PID2015_128 y PID2015_219.

I. Introducción

La tecnología puede jugar un papel importante en el modo en el que aprendemos o enseñamos. De igual manera, la tecnología puede ser fundamental para facilitar la difusión del conocimiento y la cultura más allá de colegios y universidades [1]. El reciente desarrollo tecnológico y en las comunicaciones ha permitido que quizá las dos tecnologías docentes que mayor crecimiento han experimentado hayan sido los cursos online abiertos masivos (MOOC) [2] y el aprendizaje móvil, mLearning, [3, 4]. Entre los beneficios de estas dos tecnologías podemos destacar que ambas favorecen el acceso al conocimiento de comunidades menos favorecidas y que permiten a que los estudiantes construyan sus propios entornos de aprendizaje [5].

Si nos centramos en el uso de los dispositivos móviles, smartphones y tabletas, en docencia, éste ha crecido enormemente a lo largo de los últimos años. En muchas áreas estos dispositivos se usan como facilitadores del conocimiento, para facilitar las comunicaciones entre estudiantes o entre los estudiantes y los profesores, para seguir y evaluar los avances de los estudiantes o, incluso, para elaborar materiales multimedia, vídeos docentes o elementos de realidad aumentada, gracias a diferentes aplicaciones. Sin embargo para los profesores y estudiantes de física los smartphones y tabletas pueden ser también unas potentes herramientas para realizar experimentos de física gracias al conjunto de sensores de que disponen y a su capacidad de cálculo [6]. Su uso, tanto en experimentos en el laboratorio docente como a lo largo de actividades cotidianas, permite a los estudiantes fortalecer su aprendizaje por medio de la observación y medida directa de fenómenos físicos, lo que les permite contrastar su conocimiento, o sus creencias previas, con sus propios resultados experimentales.

El uso de los smartphones como dispositivos experimentales en experimentos de física requiere un cuidado y preparación previa para garantizar unos efectos positivos en el aprendizaje. Algunos de los aspectos que necesitan tenerse en cuenta son la exactitud de los sensores de los smartphones, así como su adecuación al experimento que se desea realizar. Igualmente importante es la corrección y precisión de la aplicación móvil que se usará para acceder a los datos recogidos por los sensores. El

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

profesor debe asegurarse de que los datos suministrados por dicha aplicación son correctos, tienen significado físico y no serán fuente de confusión para los estudiantes que la usan [7]. De la misma manera, los profesores también deben ser cuidadosos en el diseño e implementación de los experimentos docentes que puedan realizarse con los smartphones. Estos experimentos deben permitir a los estudiantes observar el fenómeno físico sin dificultades técnicas o teóricas que dificulten el aprendizaje. El aspecto final que debe tener en cuenta el docente es el análisis y evaluación de la influencia del trabajo con estos dispositivos en el aprendizaje y motivación de los alumnos.

A lo largo de los últimos años se han descrito muchos experimentos físicos sencillos, de casi todas las ramas de la física, que pueden realizarse usando los smartphones, como puede verse en [8], donde una breve revisión de artículos recientes muestra diferentes trabajos clasificados por rama de la física a la que se refieren. Una clasificación diferente se hace en [9], donde se muestran y clasifican algunos trabajos en función del tipo de experimento (en el laboratorio o fuera de él) y del uso que se dé al smartphone en el experimento. En este sentido, el uso de los smartphones como dispositivos de medida en el laboratorio permite sustituir algún material experimental más caro por los smartphones bien usando sus sensores internos o añadiéndole elementos electrónicos baratos [8], lo que permite desarrollar laboratorios de bajo coste que beneficiarían a instituciones con gran número de alumnos o bajo presupuesto [10].

El aspecto final que debe llevarse a cabo en los trabajos de investigación docente con los smartphones como dispositivos experimentales corresponde al análisis de la influencia que su uso tiene en la mejora del aprendizaje e interés de los alumnos. En este sentido, algunos trabajos previos realizados hasta ahora [11,12] han mostrado, dentro de las limitaciones debidas a los contenidos y tipo de estudiantes analizados en esos trabajos, que el uso de los teléfonos de los propios estudiantes en los experimentos, como mediadores entre la vida de los estudiantes fuera de las aulas y en ellas, aumenta el interés de los estudiantes por la física y facilita su aprendizaje.

II. UN EJEMPLO SIMPLE DE USO DEL SMARTPHONE EN EL LABORATORIO

Los actuales smartphones poseen unas capacidades de cálculo, así como una panoplia de sensores que les convierten en herramientas muy útiles en muchos experimentos docentes de física, tanto en los laboratorios de facultades o institutos como fuera de ellos. El ejemplo que presentamos aquí puede ser realizado por los alumnos, tanto como parte de su trabajo en el laboratorio docente, como de modo autónomo, formando parte de un trabajo de investigación personal. El bajo coste de los materiales necesarios para el experimento, y a la vez la diversidad de resultados que se pueden extraer de él, le convierten en un posible ejemplo de interés para centros con gran número de alumnos o bajos recursos económicos.

En este experimento se utiliza el smartphone para medir y analizar las frecuencias de vibración longitudinal de barras de diferentes materiales que vibran con un extremo fijo. El montaje experimental necesario se muestra en la figura 1. Como se ve en ella, además del smartphone o tablet, así como la barra objeto del experimento, solo se necesitan una mordaza y unos tacos de madera para sujetar la barra que se va a hacer vibrar.

Fig. 1. Montaje simple utilizado para medir las vibraciones transversales de una barra usando un dispositivo móvil.

Las frecuencias teóricas de vibración longitudinal de una barra están dadas por [13]:

$$f = \frac{vk}{L^2} C_n \,, \qquad (1)$$

donde v es la velocidad del sonido en el material, que depende de su módulo de Young, E, y de su densidad, ρ, según

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \,. \qquad (2)$$

En (1), L es la longitud de la barra que vibra, medida desde el punto de sujeción hasta el extremo libre, el parámetro k establece la dependencia con sección de la barra, siendo $k = r/2$ para barras cilíndricas de radio r o $k = w/\sqrt{12}$ para barras de sección rectangular y anchura w. El parámetro C_n establece el orden del modo de vibración, siendo

$$C_n = \left(2n - 1\right)^2 \frac{\pi}{8} \,. \qquad (3)$$

$$n = 1.097, 1.99 \quad 4,3,4,5,.. \,.$$

Para calcular las frecuencias teóricas de vibración dependiendo del material de la barra, los valores de su módulo de Young y densidad pueden tomarse, por ejemplo, de [14].

En nuestro caso tanto la medida del sonido producido por la barra al vibrar como el cálculo de la transformada de Fourier necesaria para determinar las frecuencias de vibración se realizó usando la aplicación AudiA [10,15], desarrollada por nuestro grupo, y que se encuentra disponible de forma gratuita en la tienda de aplicaciones de Google [16]. Esta aplicación permite grabar en formato csv tanto los ficheros de sonido como su tranformada de Fourier, de modo que los estudiantes, si lo desean, pueden, transferir dichos ficheros a un ordenador, hacer un estudio

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

más detallado en el mismo o usarlo para realizar las representaciones gráficas que sean necesarias.

Para producir las oscilaciones que se quieren realizar, los estudiantes pueden usar dos métodos distintos: desplazar de su posición de equilibrio el extremo libre de la barra y posteriormente liberarlo para que se produzca la oscilación, o excitar dichas oscilaciones golpeando dicho extremo libre. Cada método tiene alguna ventaja y algún inconveniente. Mientras que al golpearlo se excitan modos de mayor frecuencia y también, en general, todos los modos poseen mayor intensidad que cuando se desplaza y libera el extremo libre, este método, si no se hace con mucho cuidado puede excitar modos de oscilación que no corresponden a los transversales objeto del estudio, de modo que la transformada de Fourier obtenida posee mayor ruido experimental. Por el contrario, cuando se desplaza y libera el extremo libre se obtienen resultados con menor ruido experimental pero no se aprecian los modos de mayor orden, lo que no representa un gran problema si se restringe el estudio a frecuencias no demasiado elevadas (por debajo de los 15000 Hz para los casos que hemos analizado en nuestro estudio). La figura 2 muestra una comparación de las transformadas de Fourier obtenidas a partir del sonido producido por una barra de acero de 25 cm de longitud y sección circular con radio de 0.925 mm. Tanto la grabación del sonido como el cálculo de la transformada de Fourier se llevaron a cabo en el teléfono usando la aplicación AudiA. Como se ve en dicha figura los datos obtenidos cuando se golpea el extremo libre de la barra poseen mayor intensidad, pero también mayor ruido experimental, que cuando se generan las oscilaciones desplazando y liberando el extremo libre de la barra. Los resultados mostrados en esa figura 2 se han obtenido promediando tres experimentos independientes de cada tipo, golpeando o desplazando, y se representan las barras de error obtenidas tras promediar dichos experimentos. Como se ve en esa figura, las frecuencias correspondientes a los modos de vibración, y que corresponden a los máximos relativos de la transformada de Fourier, se pueden observar fácilmente en los ficheros calculados por el smartphone.

Este experimento permite analizar de un modo sencillo y barato la dependencia de las frecuencias de oscilación con el material de la varilla, su geometría y dimensiones. Para evaluar tanto las posibles aplicaciones docentes como las dificultades que puede plantear el experimento a los alumnos, en nuestros estudio analizamos las oscilaciones de varillas de diferentes aleaciones de acero y aluminio con distintas longitudes y secciones. Para generalizar algo más los casos estudiados también consideramos varillas de sección circular y cuadrada. En concreto hemos considerado varillas con longitudes entre 25 cm y 90 cm, radios (para las de sección circular) entre 0.9 mm y 4 mm y anchuras (para las de sección cuadrada) entre 2 mm y 8 mm. Antes de empezar el experimento los alumnos deben comprobar que el teléfono recoge una intensidad de sonido suficiente pero sin llegar a saturar. Para ellos es conveniente que prueben a situarlo a diferentes distancias de la barra que oscila para elegir la condición óptima. Es conveniente que los alumnos también conozcan la posible influencia de la sensibilidad del micrófono del teléfono utilizado también en las medidas recogidas. La mayoría de los teléfonos poseen micrófonos sensibles a frecuencias desde, aproximadamente, los 80 Hz hasta los 18 kHz. Sin embargo, en pruebas realizadas por nosotros con teléfonos de menor gama hemos visto que su sensibilidad decrece abruptamente a partir de los 8000 Hz, aproximadamente. Por ello recomendamos que el trabajo con los alumnos se centre en un intervalo medio de frecuencias, como se ve en la figura 3, donde la sensibilidad de los micrófonos es suficientemente uniforme y buena, permitiendo, además analizar un número suficiente de modos de vibración. La mencionada figura 3 muestra una comparación entre los resultados experimentales obtenidos para una varilla de acero de 90 cm de longitud, sección circular y radio de 2 mm, y los valores teóricos calculados a partir de las expresiones (1) a (3). Los valores del módulo de Young y densidad del material utilizado se tomaron de [14]. En esa figura, los valores teóricos de los modos de vibración aparecen representados con lineas de trazos verticales, mientras los datos experimentales, promedio de tres medidas independientes, se muestran con las barras de error correspondientes. Como se puede ver en dicha figura, para el caso estudiado, el acuerdo teoría-experimento es muy bueno a pesar de la simplicidad del montaje y materiales utilizados. Sin embargo, en otros casos el acuerdo puede no ser tan bueno. Si el experimento se realiza con cuidado, la principal razón de desacuerdo entre los resultados teóricos y experimentales es el desconocimiento exacto de las características físicas de la varilla utilizada [9]. Cuando no se conocen con exactitud el valor del módulo de Young o de la densidad del material utilizado, las posibles variaciones que pueden darse en esos valores, dependiendo de las aleaciones del metal de la varilla, pueden originar desacuerdos que aumentan al aumentar el modo de vibración dado el factor multiplicativo de la velocidad del sonido en (1). Incluso la influencia de pequeñas variaciones del radio o la anchura de las varillas puede apreciarse en los valores teóricos de los modos de mayor orden [9].

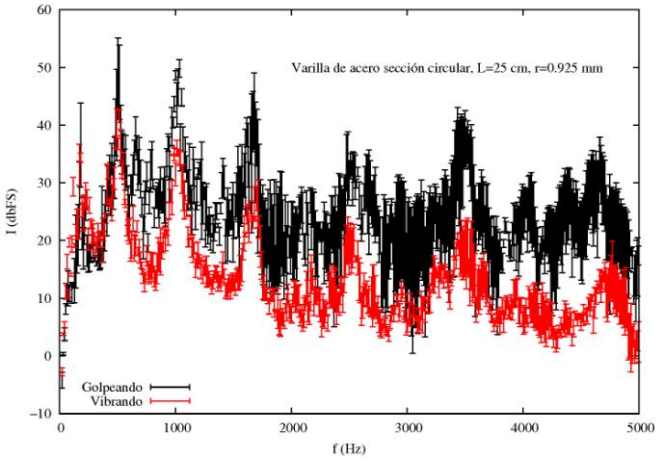


Fig. 2. Transformadas de Fourier promedio de tres experimentos independientes realizadas en dos condiciones distintas con el propio smartphone usando la aplicación AudiA. Se comparan aquí los resultados obtenidos cuando en el experimento las vibraciones se generan golpeando el extremo libre de la barra o haciéndolo vibrar tras separarlo de la posición de equilibrio y posteriormente liberarlo.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

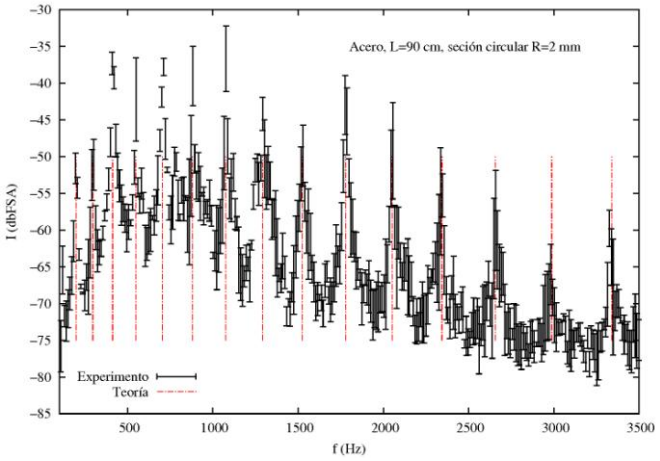


Fig. 3. Comparación teoría-experimento para las frecuencias obtenidas haciendo vibrar una barra de acero de 0.9 m de longitud y sección circular de 2 mm de diámetro. Como se ve el acuerdo es bueno a pesar de la simplicidad del montaje, y de realizar las medidas de intensidad y la transformada de Fourier del sonido usando únicamente el smartphone.

Sin embargo, esta desventaja puede convertirse en una ventaja docente ya que permite a los profesores proponer a los alumnos discusiones sobre las razones de la misma o la búsqueda de los valores del módulo de Young o densidad de la varilla estudiada. Un trabajo alternativo que pueden realizar los alumnos también es estudiar la dependencia de las frecuencias de vibración con la longitud y la anchura de las varillas, por ejemplo, y posteriormente comparar sus resultados con las expresiones teóricas (1) a (3). Para este trabajo se puede proponer a los alumnos que midan la frecuencia experimental de un modo determinado para varillas de diferentes longitudes, radios e incluso materiales. Posteriormente pueden representar los valores obtenidos para todos los casos estudiados y tratar de ajustarlos en función de la longitud o el radio/anchura [9]. En la figura 4 se muestra un estudio alternativo diferente. En ella se han representado los valores experimentales de la frecuencia del modo de orden n=3 para todas las varillas utilizadas en este trabajo en función del cociente r / L. Como se ve todos los resultados muestran un comportamiento lineal de la frecuencia de dicho modo en función de r / L, tal y como establecen las expresiones teóricas, y las pendientes se agrupan en torno a dos valores. Por un lado el correspondiente a las varillas de aluminio, con una muy pequeña dispersión en las pendientes, y por otro lado, con una mayor dispersión, los valores correspondientes a las varillas de acero. Éstas presentan mayor dispersión ya que se utilizaron varillas de acero de diferentes aleaciones, que, por tanto, poseen similares, pero diferentes, valores de E y ρ, y, por tanto, de la velocidad del sonido en ellas. Pero, si se calcula el valor medio de las pendientes correspondientes a cada material, el cociente entre dichos valores medios corresponde a la relación de las velocidades del sonido medias en ambos materiales. En efecto, para los casos mostrados en la figura 4 el cociente entre las pendientes medias de las rectas de ajuste obtenidas es 1.73 ± 0.19, mientras que la relación obtenida entre las velocidades del sonido en el acero y el aluminio a partir de los datos promedios de módulo de Young y densidad de ambos materiales en [14] es 1.66, de modo que la diferencia es únicamente del 4.2%.

III. UN EJEMPLO DE USO DEL SMARTPHONE EN EXPERIMENTOS EN SITUACIONES COTIDIANAS

Podemos aprovechar que los estudiantes llevan siempre consigo sus dispositivos móviles para diseñar experimentos sencillos que les permitan observar y medir fenómenos físicos por sí mismos a lo largo de su vida diaria. Estos experimentos, además, les permitirán contrastar sus propios resultados con sus conocimientos o creencias previas y, también, aprender la importancia del cuidado y el análisis en el trabajo experimental, lo que aprovecharán cuando realicen experimentos en el laboratorio real. Por otra parte, los teléfonos móviles, que los alumnos usan en el discurrir diario, se convierten así en un puente que favorece la integración del aprendizaje de la física dentro de la vida cotidiana de los alumnos. Diferentes trabajos han explorado el uso de los smartphones y tabletas en experimentos físicos aprovechando actividades cotidianas fuera del laboratorio. Algunos de estos trabajos se han centrado en las experiencias ricas en fenómenos físicos que se pueden observar en parques de atracciones [17,18,19,20] o incluso en parques acuáticos [21] Pero desgraciadamente, estas experiencias tan atractivas para los alumnos y con una física tan interesante no pueden considerarse actividades cotidianas o incluso habituales para muchos estudiantes. Por ello otros trabajos han investigado cómo aprovechar otras situaciones más habituales para aprender física realizando experimentos con los smartphones. Algunas de estas otras situaciones pueden ser montar en un ascensor [22], un viaje en coche o en bicicleta [10], e incluso en el proceso de despegue o aterrizaje de un avión [8]. En este trabajo mostramos algunos resultados de cinemática básica que los alumnos pueden obtener fácilmente en un viaje en autobús simplemente usando una aplicación que les permita acceder a los sensores. En nuestro ejemplo hemos utilizado la aplicación gratuita Sensormobile [23,24], que permite acceder a diferentes sensores del smartphone simultáneamente y, por tanto, analizar conjuntamente los datos obtenidos en el mismo experimento a partir de diferentes magnitudes. La medidas simultánea de diferentes

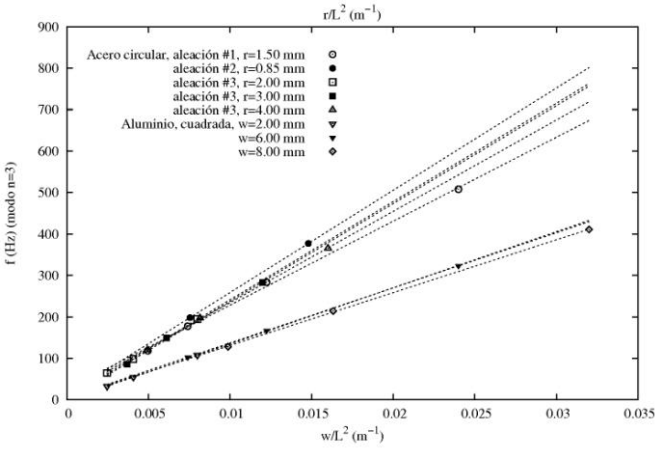


Fig. 4. Estudio de la dependencia de la frecuencia del modo de vibración correspondiente al modo n=3 respecto del cociente r/L^2 o w/L^2 para varillas de sección circular y rectangular, respectivamente. Se han considerado varillas de acero y aluminio de diferentes dimensiones.

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

magnitudes permite que los alumnos analicen las relaciones entre diferentes parámetros, como, por ejemplo, el desplazamiento, velocidad instantánea, aceleración, velocidad angular, o, incluso, el campo magnético local. En el experimento sencillo descrito aquí el smartphone se colocó horizontalmente sobre el suelo del autobús, con su eje Y a lo largo de la dirección del movimiento. Debe ponerse especial cuidado en que el teléfono quede lo más rígidamente unido posible al suelo del autobús. Pese al cuidado en mantener fija la posición del teléfono en el autobús, las vibraciones de éste, o su propio movimiento no regular, dan lugar a un ruido experimental cuya consideración, en cuanto al aprendizaje del trabajo en experimentos de física, resulta también interesante para los alumnos, por lo que lo hemos incluido en los resultados presentados aquí. De todos los datos obtenidos en un posible viaje, aquí mostramos únicamente datos correspondientes a la parte de la trayectoria mostrada en la Fig. 5, que corresponde a poco más de 200 segundos del viaje. La posición del autobús en función del tiempo se determinó a partir de los datos de GPS recogidos por la aplicación en el smartphone. Estos mismos datos permitieron también obtener la velocidad instantánea del autobús en cada momento del viaje.

La figura 6 muestra un ejemplo de relación entre magnitudes cinemáticas simples, en concreto la posición en función del tiempo y la velocidad instantánea del autobús. La velocidad instantánea muestra un ruido experimental tanto debido al propio movimiento del autobús o irregularidades en su trayectoria o en la calzada como a la propia inexactitud intrínseca al sistema GPS. Sin embargo se aprecia en la Fig. 6 cómo a lo largo del intervalo de tiempo considerado la velocidad promedio es prácticamente constante, correspondiendo a aproximadamente 102.8 km/h. Esa velocidad promedio se ha marcado con una línea verde en la figura y los intervalos de error de dicho promedio con líneas rojas a trazos. El intervalo de error mostrado en la figura corresponde a 3.2 m/s, es decir solo un 3.08% de la velocidad promedio. Superpuesta a las gráficas de la velocidad se ha representado la distancia recorrida en ese intervalo de tiempo. Los estudiantes pueden ver que dicha distancia aumenta linealmente con el tiempo, como corresponde a un movimiento con velocidad constante. A partir de la pendiente de la gráfica de la velocidad los estudiantes también pueden obtener la velocidad promedio, que se ha representado con una línea azul y en el caso representado tiene un valor de 100.6 km/h, mostrando un buen acuerdo con la velocidad promedio anterior.

Este ejemplo sencillo permite analizar otros datos cinemáticos, como la velocidad angular o la aceleración centrípeta al describir la curva mostrada en la Fig. 5. Algunos de estos parámetros se muestran en la Fig. 7. En dicha figura se han representado la componente X de la aceleración y la componente Z del giróscopo. Tal y como se colocó el teléfono, esos parámetros corresponden a la aceleración normal del vehículo y a la velocidad angular debida los giros del autobús según se desplaza a lo largo de la trayectoria, respectivamente. Si consideramos únicamente los instantes entre los segundos t=260 s a t=285 s, que en la trayectoria corresponden aproximadamente al trazado de la curva señalada con una flecha en la Fig. 5, obtenemos unos

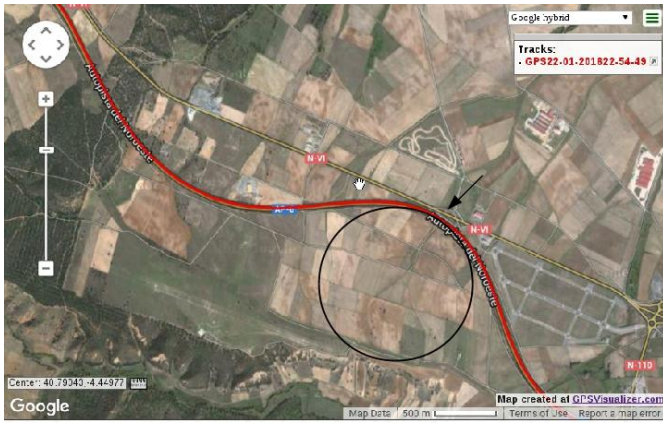


Fig. 5. Trayectoria seguida por un autobús, en rojo, mientras se recogían datos de su movimiento con los sensores de un teléfono móvil de un viajero. La trayectoria se ha obtenido a partir de los datos GPS del teléfono.

valores medios para la componente de la aceleración perpendicular al movimiento $a_x = 0.594 \quad m/s^2$ y para la velocidad angular $\omega_z = 0.031 \quad rad/s$ Como se puede ver en la Fig. 7, tanto a_x como ω_z aumentan progresiva, y simétricamente, según entra el autobús en la curva, alcanzando sus valores máximos en la parte más cerrada de la misma, para después disminuir de nuevo según el vehículo entra en un tramo más recto. De una manera similar, combinando las medidas del smartphone con la con los mapas de la trayectoria, los alumnos pueden realizar descripciones y análisis cualitativos del movimiento y entender más fácilmente la física del problema. Por otro lado, los cálculos cuantitativos permiten también a los alumnos comprobar la expresión de la aceleración centrípeta (suponiendo un movimiento plano), $a = \omega^2 r = v^2 / r$ midiendo en un mapa el radio de la curva descrita por el autobús. En nuestro ejemplo, aquí hemos realizado el proceso inverso, hemos calculado cuál debería ser el radio de la curva que tendría que describir el autobús con esa velocidad angular ω_z para sufrir la aceleración centrípeta a_x : $r = a / w^2 = 618.1 \quad m$. En la Fig. 5 se ha dibujado sobre la trayectoria seguida por el autobús y tangente con la curva analizada tal circunferencia. Como se ve el acuerdo es bueno incluso con el ruido experimental. Este buen acuerdo,

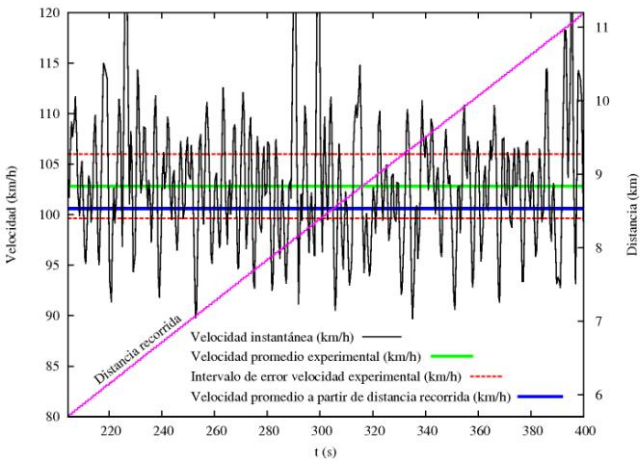


Fig. 6. Trayectoria seguida por un autobús, en rojo, mientras se recogían datos de su movimiento con los sensores de un teléfono móvil de un viajero. La trayectoria se ha obtenido a partir de los datos GPS del teléfono.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

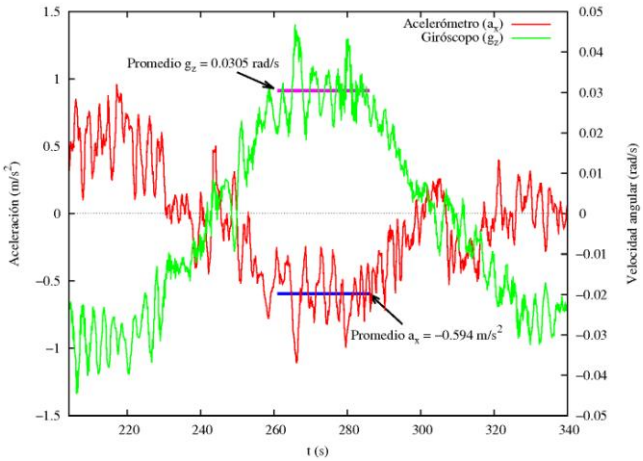


Fig. 7. Aceleración centrípeta medida con el acelerómetro y velocidad angular obtenida con el giróscopo al describir la trayectoria de la figura 5. Se han marcado los valores promedios de ambas magnitudes en una de las curvas descritas en el movimiento analzado.

así como el mostrado también en la Fig. 6, permite usar con confianza este tipo de medidas en experimentos sencillos de física que los estudiantes pueden realizar por su cuenta, a modo de investigación personal, para incrementar su interés por la física y favorecer su trabajo autónomo gracias al uso de sus propios smartphones.

IV. Conclusiones

Los teléfonos pueden ser herramientas útiles para la enseñanza de la física. Pero a diferencia de otras materias, para la física su papel puede ir más allá de facilitadores del conocimiento o de la comunicación entre alumnos y profesores. En este trabajo se han descrito algunos ejemplos sencillos de experimentos de física realizados con teléfonos. Los resultados experimentales que se han obtenido muestran buenos acuerdos con los modelos teóricos, justificando el uso de los teléfonos tanto en los laboratorios docentes sustituyendo algún otro material más caro, como en experimentos *low-cost* que favorezcan el trabajo autónomo de los alumnos y su interés por la física. Un paso adicional necesario es la evaluación del impacto en el aprendizaje que pueden tener estos experimentos con smartphones. Para ello es necesario estudiar grupos amplios de alumnos de diferentes niveles y situaciones mediante colaboraciones de docentes de diferentes centros y niveles educativos.

Referencias

[1] A. Molnar, "Computers in education: A brief history". *The journal*, vol. 24(11), pp. 63-68, 1997.

[2] S. Kellogg. "Online learning: How to make a MOOC". *Nature*, 499(7458), pp. 369–371. 2013.

[3] M. Sharples, J.Taylor, and G. Vavoula, "Towards a theory of mobile learning". *Proceedings of mLearn 2005*, vol. 1(1), pp. 1-9. 2005

[4] J. Traxler, "Defining, Discussing and Evaluating Mobile Learning: The moving finger writes and having writ...." *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, vol. 8(2), pp. 1-12. 2007.

[5] M. de la Pena-Bandalaria, "Impact of ICTs on open and distance learning in a developing country setting: the Philippine experience", *International Review of Research in Open and Distance Learning*, vol. 8, pp. 1-15, 2007

[6] J. Kuhn, and P. Vogt. "Applications and examples of experiments with mobile phones and smartphones in physics lessons". *Frontiers in Sensors*, 1, 4 2013.

[7] M. Á. González, M. Á. González, M. E. Martín, C. Llamas, Ó. Martínez, J. Vegas, M. Herguedas, and C. Hernández. "Teaching and Learning Physics with Smartphones." *Journal of Cases on Information Technology (JCIT)* vol. 17, no. 1, pp 31-50, 2015.

[8] M.Á. González and M. Á. González. "Physics in your Pocket: Doing Experiments and Learning with your Smartphone" in Proceedings of the *20th International Conference on Multimedia in Physics Teaching and Learning (MPTL'20)* (to be published).

[9] M. Á. González and M. Á. González. "Smartphones as experimental tools to measure acoustical and mechanical properties of vibrating rods". *European Journal of Physics*, to be published, 2016.

[10] M. Á González, J. B. da Silva, J.C. Cañedo, F. Huete, Ó. Martínez, D. Esteban, J. Manso, W. Rochadel, and M.Á González. "Doing physics experiments and learning with smartphones" in *Proceedings of the 3rd International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'15)*, (ACM) pp 303-310, 2015.

[11] J. Kuhn, and P. Vogt. "Smartphone & Co. in physics education– Effects of learning with new media experimental tools in acoustics". Multidisciplinary research on teaching and learning (Palgrave Macmillan, Basingstoke, UK), pp. 253-269. 2014.

[12] P. Klein, J Kuhn, A. Müller, and S. Gröber. "Video analysis exercises in regular introductory mechanics physics courses: Effects of conventional methods and possibilities of mobile devices". Multidisciplinary Research on Teaching and Learning (Palgrave Macmillan, Basingstoke, UK), pp. 270-288. 2015.

[13] L.E. Kinsler, A.R. Frey, A.B. Coppens, and J.V. Sanders "Fundamentals of acoustics" 4th ed. .Wiley-VCH, 1999. Secciones 3.8 a 3.11

[14] Materials Data Book, Cambridge University Engineering Department, 2003.

[15] J. C. Cañedo "AudiA: Estudio de ondas sonoras y audiometrías en entorno Android", Universidad de Valladolid: Proyecto Fin de Carrera, 2014

[16] https://play.google.com/store/apps/details?id=es.uva.audia (página visitada el 9/3/2016).

[17] A.M. Pendrill, and J. Rohlén. "Acceleration and rotation in a pendulum ride, measured using an iPhone 4". *Physics Education*, vol 46), pp. 676-681. 2011.

[18] A.M. Pendrill. "Student investigations of the forces in a roller coaster loop". *European journal of physics*, vol. 34, pp. 1379-1389. 2013

[19] R.E. Vieyra, and C. Vieyra. "Analyzing forces on amusement park rides with mobile devices". *The Physics Teacher*, vol. 52, pp. 149-151. 2014.

[20] A.M. Pendrill, "Rotating swings—a theme with variations". *Physics Education*, vol. 51, 015014 (9 pp.) . 2015.

[21] C. Cabeza, N. Rubido, N., and & A.C. Martí ."Learning physics in a water park". *Physics Education*, vol. 49, pp. 187-194. 2014

[22] J. Kuhn, P. Vogt, and A. Müller. "Analyzing elevator oscillation with the smartphone acceleration sensors". *The Physics Teacher*, vol. 52, pp. 55-56. 2014.

[23] F. Huete, D. Esteban, J. B. da Silva, M. Skouri, M.Á. Gonzalez, D. Goudjami, and M.Á. González. "Sensor Mobile, aplicación Android multilingüe con fines docentes para el acceso a sensores de smartphones". In *Proceedings of the XIII Jornadas de Redes de Investigación en Docencia Universitaria: Nuevas estrategias organizativas y metodológicas en la formación universitaria para responder a la necesidad de adaptación y cambio* , pp. 55-67. 2015.

[24] https://play.google.com/store/apps/details?id=com.sensor.mobile (página visitada el 28/3/2016).

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Capítulo 8

A Iniciativa *micromouse@utad.pt* e o Estímulo ao Saber Tecnológico no Ensino Pré-Universitário

Sérgio Silva, Salviano Soares, António Valente, Rolando Barradas e Paulo Bartolomeu

***Title*—Enhancing STEM courses through a Robotic Innovative project**

***Abstract*—This paper presents the educational robotics model of the micromouse@utad.pt initiative, his mission, how it is implemented, and its main results. The project addresses the urgent need to enhance student interest and performance in science, technology, engineering, and mathematics (STEM) courses, while fostering skills that are important prerequisites for IT careers. In the near term, the project is helping Portuguese schools and students meet statewide academic standards. Over the long term, the project will helpinspire and prepare a new generation of IT professionals.**

The *micromouse@utad.pt*project includes, in addition to the annual competition, the development of a kit, workshops for students and their teachers, and dissemination activities. The project was started in 2011 and all the preliminary phases are concluded. First results show that there is great interest and participation of all stakeholders. In the near future it will be necessary to add to the project a graphical language, Blockly, Scratch namely, in order to facilitate and stimulate the participation of younger students.

***Index Terms*— Micromouse Contest, Educational Robotics,STEM courses, Optimization Algorithms, Visual languages**

***Resumo*—O projeto *micromouse@utad.pt*pretende ser mais um contributo para estimular o interesse em alunos na área das Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática (CTEM), promovendo competências consideradas pré-requisitos para carreiras nas TI. Se no curto e médio prazo a iniciativa poderá auxiliar as escolas dotando-as de novos conteúdos e os alunos portugueses pré-universitários a atingirem padrões académicos já no longo prazo, estima-se que inspire e prepare a nova geração de profissionais de TI.**

Este artigo apresenta o projeto *micromouse@utad.pt*, uma iniciativa da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) na área da Robótica Educativa: a sua visão, missão, o modo de implementação bem como alguns dos seus resultados nos últimos cinco anos.

Para além da competição anual, o projeto *micromouse@utad.pt* inclui ainda o desenvolvimento de um *kit* de apoio à educação (HW+SW), *workshops* para alunos e professores, e atividades de divulgação e disseminação científicas. Todas as fases preliminares estabelecidas desde 2011 foram concluídas e têm contado com um interesse crescente de toda a comunidade envolvida. Por forma a facilitar e estimular a participação de alunos cada vez mais jovens adicionou-se a possibilidade de interação com o HW através de linguagens gráficas, Blockly e Scratch, com a realização em SW do primeiro protótipo que se pretende avaliar e robustecer já nas próximas versões.

***Index Terms*— Micromouse Portuguese Contest®, Robótica Educativa, CTEM, Algoritmos de Otimização, Linguagens Gráficas**

I. Introdução

O Fascínio que a robótica desperta em crianças (e adultos) pode medir-se na crescente oferta de filmes de animação (Wall-Eou Robôs), na proliferação de brinquedos robô, pré montados ou em *kits* de construção (Lego Mindstorms ou AIBO *by* Sony) ou na enorme publicação de revistas e *websites* da especialidade em todos os países. Ao mesmo tempo que começa a existir uma preocupação generalizada quando se analisam os números da procura dos alunos em cursos de ciência e tecnologia vão surgindo novas estratégias para manter a atratividade e mesmo captar novos públicos se possível em idades cada vez mais precoces [1]. Marian Petre apresenta exemplos de crianças que apreenderam conteúdos considerados complexos ou mesmo inacessíveis, através do auxílio provido na resolução de problemas em robótica educativa. Numa outra perspetiva, ainda no mesmo trabalho, regista-se que alunos do ensino secundário integrados em ambientes colaborativos chegaram à conclusão que o conhecimento de conteúdos de programação e engenharia é estimulado quando existe uma envolvência social favorável.

As competições de robôs são consideradas uma das formas mais eficazes de atrair os estudantes para a área da tecnologia onde se inclui a robótica, uma vez que vencer um prémio numa competição não só dá aos alunos um sentimento de realização, mas também é motivo de orgulho e visibilidade para as escolas onde estão inseridos. Dois exemplos com grande sucesso são a RoboCup Jnr. e Robot World Cup Initiative [2] para alunos das escolas primárias e

Este trabajo fue presentado originalmente en el 2015 International Conference Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality.

Sérgio Silva e António são da Escola de Ciências e Tecnologias do Departamento de Engenharias da UTAD, Vila Real, Portugal (phone: +351 932 343 343 e-mail: sergio.s.silva@ inescporto.pt) e do INESC TEC - INESC Tecnologia e Ciência (ex-INESC Porto, pólo da UTAD, Porto, Portugal)

Salviano Soares é são da Escola de Ciências e Tecnologias do Departamento de Engenharias da UTAD, Vila Real, Portugal e do IEETA - UA, Aveiro, Portugal

Rolando Barradas é da Universidade do Minho, Braga, Portugal.

Paulo Bartolomeu é da Globaltronic – Electrónica e Telecommunicações SA., Águeda, Portugal

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

secundárias onde existem várias competições, cada uma com os seus desafios próprios:

Futebol–jogos entre equipas de 2 robôs autónomos num campo verde de 90 × 150 cm;

Salvamento–Robôs autónomos concorrem entre si com o objetivo de identificar 'vítimas', numa tarefa de seguimento de linha que incorpora obstáculos e terrenos desnivelados;

Dança–um ou mais robôs autónomos executam uma coreografia em que a criatividade é o elemento principal.

A. A história dos concursos Micromouse

Os primeiros desenvolvimentos do "*Mechanical mice*" em 1972 contribuíram decisivamente para o anúncio na IEEE Spectrum Magazine "*an Amazing Micromouse Maze Contest*" em 1977 que culminou no que se considera ser a primeira competição oficial de Micromouse nos EUA em New York em 1979. Logo no ano seguinte realizou-se em Londres a primeira edição europeia e passados cinco anos, em 1985, foi consagrado no primeiro concurso mundial em Tsubuka no Japão o *Micromouse* japonês Noriko-1 como campeão mundial: refira-se por curiosidade que o primeiro concorrente não japonês apareceu apenas na sétima posição demonstrando a forte hegemonia asiática nestes tipo de concursos.

O *Micromouse* é um veículo robótico totalmente autónomo baseado num microcontrolador, cujo propósito é a exploração de um labirinto desconhecido com vista a encontrar o trajeto ótimo em termos de tempo de viagem entre dois pontos: um ponto inicial no canto inferior esquerdo, e um ponto final nos quatro quadrados centrais, (S) e (G) respetivamente na Fig.1.

Embora o principal desafio para os concorrentes seja o de dotar o *Micromouse* de uma inteligência adaptativa para explorar labirintos com diferentes configurações e encontrar o trajeto mais rápido entre a entrada e saída do mesmo, a saída central do labirinto (G), apresenta alguns desafios adicionais aos concorrentes impostos pelas regras oficiais.O labirinto consiste em 16x16 quadrados de 18x18cm cada. As passagens horizontais e verticais medem 16,8 cm e as passagens diagonais 11,03cm. As paredes têm 5 cm de altura, sendo brancas nas laterais e topos (em alguns eventos o topo é vermelho). O chão do labirinto é preto. O trajeto, como já referido, tem sempre início no canto inferior esquerdo (S) e deverá terminar nos quatro quadrados centrais (G).

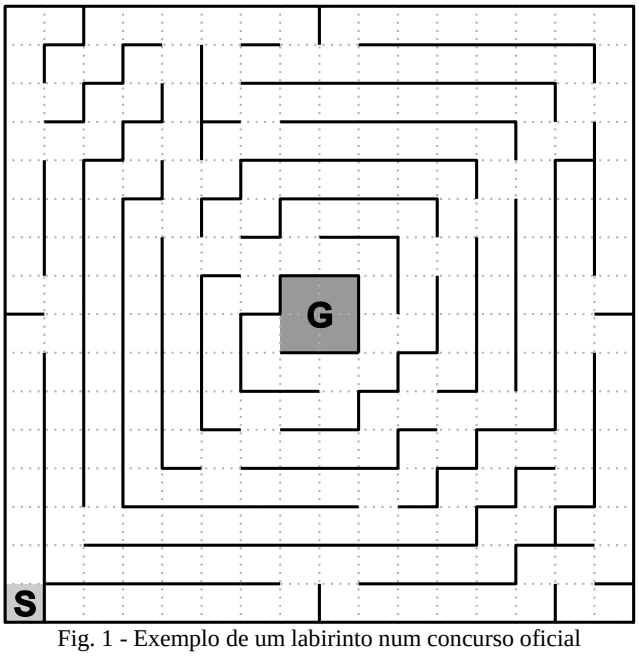


Fig. 1 - Exemplo de um labirinto num concurso oficial

As regras de pontuação beneficiam os algoritmos de exploração eficientes penalizando os mais ineficientes. Deste modo, a vitória não é apenas determinada pela velocidade, sendo a fiabilidade e inteligência tidas também em conta no resultado final. Por exemplo, se um *Micromouse* for tocado durante o decorrer da prova, existe uma penalização associada. Estes pequenos robôs de competição podem atingir velocidades superiores a 3m/s executando caminhos em diagonal [3]. Esta combinação de objetivos simples e concretos associados a um sistema de pontuação aliciante que beneficia algoritmos eficientes em detrimento dos restantes faz do *Micromouse* um projeto ideal para estudantes de qualquer nível.

Estes concursos, muito atrativos visualmente, são organizados um pouco por todo o mundo (Reino Unido [4], EUA [5], Japão [6], Singapura [7] e Taiwan [8]).

Este artigo apresenta o *micromouse@utad.pt*, uma iniciativa da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) na área da Robótica Educativa: a sua visão, missão, o modo de implementação (*kit*, *workshops* e disseminação), alguns dos seus resultados nos últimos cinco anos bem identifica algumas linhas estratégicas para os futuros desenvolvimentos.

II. A INICIATIVA *MICROMOUSE@UTAD.PT*

O projeto iniciado em 2011, para além de incluir a competição anual em Portugal pretende proporcionar um ambiente de aprendizagem completo na área da promoção do saber na área da tecnologia fomentando a criatividade e a competência da comunidade de interesse. Deste modo e adicionalmente à competição anual, o projeto tem associado o desenvolvimento de: um *kit* de robótica (Grígora S), *firmware* na forma de bibliotecas Arduíno disponibilizadas e suportadas na comunidade GitHub, *workshops* para estudantes e professores, ações de divulgação em escolas, disseminação no sítio oficial do evento e publicações científicas como é o caso do presente trabalho.

A. O Micromouse Portuguese Contest®

A primeira edição do Micromouse Portuguese Contest [9] realizou-se em 2013 com a supervisão da Sociedade Portuguesa de Robótica [10]. Este evento foi o culminar de dois anos de atividades de promoção do concurso e estabelecimento das regras da competição. Este esforço serviu essencialmente para cativar o interesse dos estudantes neste evento de robótica, parte importante do *micromouse@utad.pt*. Com o objetivo de chegar ao maior número de pessoas/públicos, o evento tem tido lugar anualmente num centro comercial em Vila Real, o Dolce Vita Douro [11].

Com vista a disseminar e dar a conhecer o concurso explicando as regras de modo e cativando o interesse de estudantes e professores para este evento, na Fig.2 apresenta-se um testemunho numa demonstração incluída num concurso de robótica educacional (RoboTop), para

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

estudantes do ensino secundário, realizada em Santo Tirso no norte de Portugal em 2011.

Fig. 2 -Apresentação do concurso Micromouse na escola Secundária Tomaz Pelayo em St. Tirso

Em 2012 iniciou-se toda a logística para a preparação da primeira edição do Micromouse Portuguese Contest, com mais sessões de demonstração em vários festivais nacionais de robótica, culminando em 2013 com a primeira realização nacional do evento. Logo nesse ano e como resultado do estímulo à troca de ideias entre todos os participantes durante os dias do concurso, iniciaram-se os trabalhos de desenvolvimento do *kit* Micromouse (Grígora S) após síntese dos requisitos estruturais para o *kit* recolhidos nas melhores sugestões de todos os participantes.

Apesar da edição de 2013 ter contado apenas com a participação de estudantes universitários, com o desenvolvimento do Grígora S (a apresentar já no ponto B desta seção) pretendeu-se incentivar a participação de estudantes e professores pré-universitários facilitando-lhes a integração de atividades de robótica educativa nos currículos dos seus cursos CTEM. Esta estratégia permitiu que logo no ano seguinte ocorresse a participação de várias escolas secundárias de várias zonas do país.

Cumprindo mais um objetivo na sua missão, a UTAD diligenciou no sentido de proteger a propriedade intelectual associada à iniciativa: desta forma o Micromouse Portuguese Contest® é uma marca registada em Portugaldesde 2014 com o nº 529372 no INPI [12].

B. *O kit Micromouse* - Grígora S

Apesar do desenvolvimento de um conteúdos que facilitasses a participação de estudantes do ensino secundário ou outros, sempre esteve presente na génese da iniciativa, conforme já referido, só após a 1ª edição oficial em 2013 se concretizou ao serem identificados os requisitos essenciais para o fabrico do 1º protótipo para um *kit Micromouse* - o Grígora S. Tendo em mente a participação de estudantes do ensino secundário e a sua necessidade de desenvolver um robô capaz de participar no concurso, foi projetado um *kit* assente numa plataforma de hardware, com um nível de maturidade e disseminação elevados (Arduino), articulada com motores de passo para facilitar o seu controlo.

Desta forma, o Grígora S, cujo diagrama de blocos é descrito na Fig. 3, é dotado de dois motores de passo NEMA 8 (bastante pequenos, só 20x20x30m de comprimento) com 1,8 graus de passo (200 passos/por volta).

O microcontrolador controla quatro díodos emissores de infravermelhos (IR LED), em três direções (frente, direita e esquerda), utilizando 4 foto-díodos para detetar a intensidade da luz refletida pelas paredes do labirinto e corrigir a posição do robô nas células.

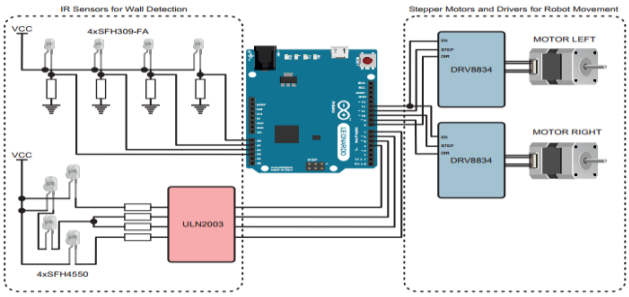


Fig. 3– Diagrama de blocos do Grígora S

O cérebro do robô (unidade de processamento) é baseado no Arduino Leonardo [13] com um microcontrolador de 16 MHz ATmega32U4 da ATMEL com 32kb de memória flash e 2.5 kb de SRAM.

O microcontrolador é programado por uma porta micro USB que também pode ser usada como porta de comunicação Série (útil para *debug*). O *firmware* no microcontrolador pode ser controlado por intermédio de 2 botões, Leds, Buzzers e um conector série adicional para ligação de um dispositivo sem fios (este só pode ser usado durante os testes, não sendo permitido nas provas).

O uso de bibliotecas de funções (C e C++), incentiva o desenvolvimento com aplicação em contexto real por parte dos estudantes dos seus algoritmos de resolução do labirinto, que permitirão ao Micromouse encontrar o melhor caminho otimizando numa segunda fase a rota do início ao fim do labirinto. Na Fig. 4 apresenta-se o protótipo real do *kit Micromouse* –Grígora S.

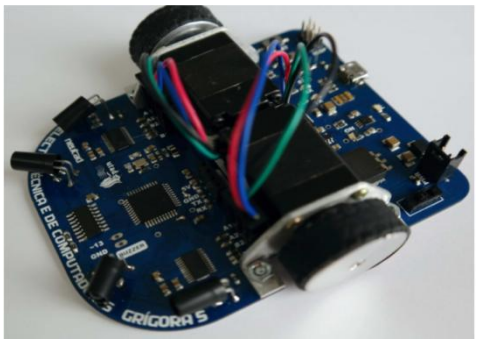


Fig. 4– Protótipo do kit Micromouse –Grígora S

C. *A biblioteca MMkit*

Comprometidos com a visão de colaboração em rede disponibilizou-se em código aberto para o *kit Micromouse* um conjunto de rotinas em Arduíno no seguinte endereço github:

- https://github.com/MMkit/MMKit

Esta biblioteca integra vários exemplos que visam potenciar a aprendizagem aos utilizadores dos movimentos básicos do robô tais como o MoveFoward que explica como deslocar o Micromouse uma determinada distância em frente.

Para uma melhor compreensão deste movimento vamos explorar este exemplo:

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

```
#include      <AccelStepper.h>//Accelaration
library
#include <MMkit.h>// MMkit library
AccelSteppermotorLeft(AccelStepper::DRIVER,
9, 8);
// declaration of motorLeft to control the
MMkit
AccelSteppermotorRight(AccelStepper::DRIVER,
11, 10);
// declaration of motorRight to control the
MMkit
MMkitGrigoras(motorLeft, motorRight);
// declaration of object variable to control
the MMkit
void setup(){
Grigoras.setupMMkit();// Starts the MMkit
Grigoras.goForward(20.0);  //distance to go
forward in cm //(18.0) means 18.0cm
Grigoras.setForwardMotionSpeed(20);   //sets
forward speed if //value < 40 = cm/s  else
(value/158)cm/s
Grigoras.waitForStart();//  waits  for  hand
passing front right
}//sensors
void loop(){
  if(Grigoras.running()==true) {
Grigoras.runSpeed();                  //moves
at the desired speed
   }else{
Grigoras.stop();
   }
}
```

A função **Grigoras.goForward(20.0)** informa a biblioteca da distância em cm que o robô deve deslocar-se, apesar da movimentação só se efetivar quando as funções **Grigoras.runSpeed()** ou **Grigoras.run ()** são chamadas.

Para além de movimentar o robô, as funções anteriores também devolvem *feedback* sobre o seu estado: *True* se ainda houver passos a serem efetuados e *False*, no caso contrário. De igual modo a função **Grigoras.running(),** devolve o valor *True* se a distância percorrida pelo robô for igual à que anteriormente foi mandado andar.

Para virar é possível usar as funções **rotateLeft(*deg*)** ou **rotateRight(*deg*)** onde *deg* representa os graus que queremos que o robô vire. Habitualmente usa-se a função **Grigoras.run()** com movimentos de curva e **Grigoras.runSpeed()** com movimentos em frente, já que esta implementa algumas funções de correção da direção do robô tentando manter o Micromouse no centro das células.

No sentido de completar todas as partes fundamentais para a participação no concurso e considerando que o desenvolvimento de estratégias mais avançadas de pesquisa do Caminho Ótimo ou de Otimização de Trajetórias, que numa fase inicial do conhecimento exigem capacidade de pensamento analítico e noções estruturadas de abstração, foram também desenvolvidas e incluídos na biblioteca implementações de três algoritmos diferentes que na seção seguinte serão novamente referidos: *floodfill*, *right wall follow* e *random move*.

D. Os Workshops

Integrados nas ações de divulgação, no início de todos estes eventos é dada uma visão geral da iniciativa em particular do concurso anual estimulando-se à participação pois deverá servir de referência e objetivo a cumprir anualmente pela comunidade.

Assim, numa primeira fase nas instalações da UTAD, estabeleceram-se dois tipos de *workshops* para audiências distintas: estudantes (ou grupos de interesse) e professores (ou formadores).

Para os estudantes existe uma explicação da constituição do *kit* que inclui, no caso da versão não assemblada, uma sessão de "Técnicas de Soldadura com Ar Quente" para os componentes SMD que existem no PCB (por questões técnicas na UTAD, ver Fig. 6) e uma outra de "Teste e Programação do Micromouse".

Fig. 6 - Sessão técnica sobre solda com ar quente do Grígora S

As ações mais dedicadas aos professores têm dois objetivos fundamentais: a sua formação, para que possam dar suporte aos seus estudantes e também a apresentação e disponibilização de conteúdos sobre os vários temas sobre o concurso e tudo que envolva a área da Robótica Educativa na UTAD. Regra geral, estas sessões iniciam-se com uma abordagem ao *hardware* e à programação do *kit* (Arduino Integrated Development Environment) enuma segunda fase, vão-se apresentadoos vários módulos constituintes do *kit* de *software*: deteção de paredes; controlo de motores de passo; movimentos pré-definidos; odometria; e finalmente os algoritmos para a resolução do labirinto (turn left/right, flood-fill,entre outros) [14]. Como já abordado, é objetivo destas sessões mais orientadas, dotar os professores das competências e técnicas necessárias para transmitir aos estudantes as melhores estratégias que garantam desempenhos ótimos no Micromouse Portuguese Contest®. Uma das vantagens desta abordagem consiste na possível adequação dos métodos de ensino com aplicabilidade real, de modo a que os professores tenham uma oportunidade para praticar uma nova estratégia de forma mais informal, antes de a testarem em sala de aula.

Se por um lado este formato de *workshop* são uma excelente oportunidade para troca de experiências, partilha de conhecimentos e contacto próximo e natural com os

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

futuros colegas estudantes universitários já mais experimentados que muitas vezes integram grupos interesse como é o caso de Grupos de Robótica, por outro, a deslocação dos estudantes e seus professores à UTAD constitui também uma boa ocasião para se realizarem testes em contexto real os robôs na pista oficial que devido às suas dimensões 3×3m e modo de fabrico, nem sempre está disponível em todas as escolas.

Durante os anos de 2012 a 2014 as sessões realizaram-se predominantemente na UTAD e nesta fase, optou-se por excluir do universo de tópicos abordados as estratégias de otimização, uma vez que as audiências destes *workshops* eram maioritariamente estudantes do ensino secundário.

Prosseguindo os desígnios iniciais do micromouse@utad.pt, a partir de 2014 e com a associação de novos parceiros com outra logística, foi possível começar a deslocalizar para outros espaçosas sessões de esclarecimento alargando também a abrangência a várias zonas do país e a outros públicos onde existem comunidades de interesse. São exemplos deste esforço o primeiro *workshop* da apresentação do protótipo do novo *kit* Oficial Micromouse (a apresentar em próximo trabalho) e da sua assemblagem, entre outros inseridos na Semana Europeia da Robótica 2015, na região de Aveiro ou em Lisboa [15, 16, 17].

III. Contributos para a Consolidação de Conceitos Avançados de Programação

A. *Algoritmos para a Resolução de Labirintos*

A resolução de labirintos é um problema antigo com muitas soluções e algoritmos capazes de encontrar a solução correta. Um destes algoritmos é o de seguir a parede direita ou esquerda. Essencialmente o robô irá seguir uma das paredes até encontrar a saída do labirinto. Sempre que o robô encontra um cruzamento, verifica as paredes existentes e dá prioridade à parede selecionada.

Ao escolher as paredes como guia, esta estratégia ou algoritmo é capaz de fazer o robô chegar ao fim, sem ter em conta quer o melhor caminho, quer o melhor tempo.

No entanto, existem algumas configurações, como a de labirintos com regiões em *loop*, onde o algoritmo de seguir a parede irá falhar na resolução. É por esta razão que embora continue a ser explicado, pela sua simplicidade, este algoritmo não é considerado eficiente para a resolução do concurso Micromouse.

O algoritmo Flood-fill [18] é considerado um dos mais eficientes para a resolução de labirintos. Este algoritmo é uma variação do Algoritmo "Bellmon Ford" [19], em que valores são atribuídos às células, como representação da distância dessa célula ao centro do labirinto. A célula de destino terá assim o valor de zero. Quando o robô está numa célula com o valor de 1, significa que está a uma célula do seu destino. Se estiver numa célula com o valor de 4 então estará a 4 células do destino.

Quando chega a altura de efetuar um movimento, o robô deve examinar as células adjacentes que não estão impedidas por paredes e escolher aquela cujo valor seja mais baixo, isto é, que está mais próxima do centro. Caso exista mais do que uma célula com o valor mais baixo, então a decisão será por aquela que leve a menos movimentos.

Existem muitos outros algoritmos de resolução de labirintos, como o Dijkstra [20] onde para um dado nó no ramo, o algoritmo escolhe o que tem menor custo (*i.e.* aquele mais curto) entre aquele nó e os nós adjacentes, ou as suas variações A* ou A *star* [21] que em primeiro lugar procura os caminhos que aparentemente podem levar mais rapidamente à solução final. O algoritmo A *star* atravessa o caminho, seguindo aquele cujo custo de distância é o mais baixo, mantendo um registo de outros caminhos menos prioritários que serão seguidos quando o atual não tenha saída. Pelo bem da simplicidade, o algoritmo Flood-fill e as suas variações providenciam uma forma sistemática e previsível para resolver o concurso Micromouse.

B. *Deteção de Paredes*

A deteção das paredes é mais uma importante caraterística da navegação do robô, já que se apresenta como uma oportunidade para mostrar aos estudantes como a lógica binária pode ser usada para simplificar tarefas.

A biblioteca desenvolvida possuiu três funções dedicadas a verificação da existência de paredes, bastando para tal, comparar o valor devolvido pela função com o 1 lógico.

Estas funções são: **isWallLeft**, **isWallRight** e **isWallFront**.

A tabela 1 representa todas as possibilidades que derivam da junção das três funções (1 representa a existência de parede e 0 a não existência):

Tabela 1
Possibilidades de existência de paredes

Option	Left Wall	Right Wall	Front Wall
1	0	0	0
2	1	0	0
3	0	1	0
4	1	1	0
5	0	0	1
6	1	0	1
7	0	1	1
8	1	1	1

Para simplificar a complexidade e mostrar a importância da numeração e matemática binária, os professores são encorajados a usar a representação das paredes como um número binário, current_cell.wall=B000, de modo a representar as 8 hipóteses possíveis. Com a ajuda da instrução OR simplificamos essa escolha a apenas 3 operações, ao fim das quais o valor que fica armazenado na variável current_cell.wall representa as paredes daquela célula.

```
current_cell.wall=B000;
if(isWallLeft()==1){                    //LRF
current_cell.wall=current_cell.wall|B100;
  }if(isWallFront()==1){                //LRF
current_cell.wall=current_cell.wall|B001;
  }if(isWallRight()==1){                //LRF
current_cell.wall=current_cell.wall|B010;
}
```


©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

C. *Becos e Caminhos de Retorno*

São muitos os desafios que os labirintos apresentam para resolver. Dois dos mais importantes são os becos e os caminhos de retorno. A Fig. 7 mostra estes dois tipos de desafios que podem acontecer quando usamos o algoritmo *Flodd-fill*.

12	11	10
13	12	11
14	13	12
15	14	13
S	15	14

Fig. 7–Becos e caminhos de retorno

O labirinto parcial mostra 2 becos, marcados com a cor cinzenta e um caminho de retorno marcado a castanho. Se usarmos o algoritmo *Flodd-fill*, o Micromouse seguirá o caminho [15,0] [14,0] [13,0] [12,0], local onde o Micromouse terá a necessidade de efetuar inversão de marcha U-TURN. Claro que agora a célula em frente tem um valor superior à célula atual. Logo o Micromouse necessita recalcular o peso das células para poder avançar. Porém ao aumentar o peso das células por onde passou em 1 vai ficar preso. Uma das soluções será a de sempre que o robô efetuar uma U-TURN, o peso da célula onde ele está ser aumentada para 255 e percorrendo o caminho até ao primeiro entroncamento ir decrementando este valor, desta forma, não só o robô irá sair do beco como nunca mais irá lá entrar.

No caso dos caminhos de retorno, estes envolvem o conhecimento dos caminhos por onde o robô passou de modo a que este opte por um caminho diferente quando chegar a um local por onde já passou. De contrário o robô ficaria preso num *loop* eterno.

Este desafio envolve o uso de *arrays*, *loops*, instruções de controlo, isto é, a matemática necessária em qualquer curso CTEM.

IV. Uma Abordagem Gráfica

Linguagens de programação gráficas, com níveis de abstração mais altos, são uma forma de cativar um público cada vez mais jovem, sem qualquer experiência de programação. Para o fazer, decidiu-se criar um protótipo em Scratch [22, 23] como uma primeira abordagem dos jovens às linguagens de programação e aos algoritmos de resolução de labirintos. A seguir descreve-se a metodologia seguida que se prevê validar com testes *workbench* a apresentar num próximo trabalho.

Baseado numa estratégia de *Problem Based Learning*, aos alunos é pedido para visualizarem mentalmente os movimentos de um rato num labirinto, em busca de um pedaço de queijo, colocado no centro do mesmo.

No Scratch, aos objetos ou personagens utilizados num projeto, dá-se o nome de *Sprite*. O projeto do Micromouse é muito simples uma vez que utiliza somente três *sprites*: uma para o labirinto, outra para um pedaço de queijo colocado no centro, e outra para o rato. Nesta fase do projeto, o rato é substituído pelo Grígora S, como ilustrado na Fig.8.

O verdadeiro desafio na utilização do Scratch para um projeto deste género está no código, ou blocos, utilizados na programação. Cada linha de código, necessária para fazer funcionar o robô real tem que ser implementada no Scratch. Contudo, uma vez que as estruturas de dados no Scratch estão limitadas a variáveis simples e a listas, esta implementação tem que ser feita com uma abordagem bastante diferente do que seria se utilizássemos outras linguagens de programação.

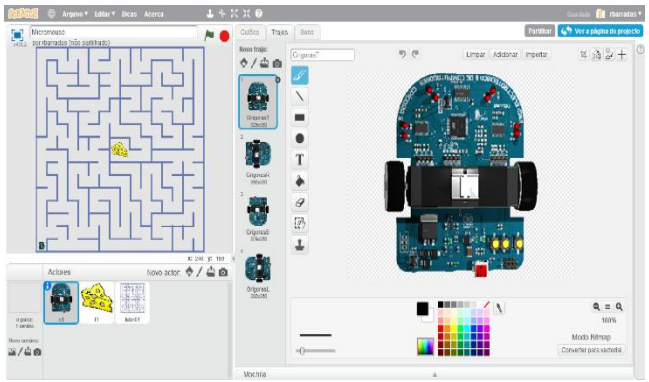


Fig. 8–O editor de projetos do Scratch

Tipicamente, um labirinto poderia ser representado utilizando um *array* bidimensional. Contudo, uma vez que no Scratch estes não existem, o *array*, ou matriz, foi implementado através da utilização de várias listas, uma para cada coluna do labirinto, contendo valores que representam a distancia de uma célula específica do labirinto [Número da lista, posição na lista] às células do centro, de forma a permitir implementar uma versão do algoritmo de *flood-fill* [18] em Scratch.

De modo a facilitar a utilização desta complexa estrutura de dados, foram criados vários procedimentos ou Custom Blocks, usando a terminologia do Scratch, que permitem manipular os valores da matriz de uma forma simples. Por exemplo, o procedimento **matrixChange** (número de coluna, número de linha, valor) pode ser utilizado para definir o valor de uma certa posição na matriz que representa o labirinto e a função **matrixValue** (número de coluna, número de linha), devolve o valor presente numa determinada posição.

Utilizando esta *framework* de 'MicromouseScratch', os alunos podem interagir com o protótipo virtual e criar o restante código que permita decidir a direção que o Micromouse deverá seguir quando se encontra numa determinada célula. O caminho que o Micromouse segue é criado através da navegação na matriz de células pesadas e da deteção de paredes à medida que vai avançando. De cada vez que a *sprite* do Micromouse chega a uma nova célula, é analisado o peso das células adjacentes, são descobertas as paredes e é feito um novo movimento na direção da célula com o menor peso (Fig. 9).

Falta ainda ajustar alguns casos específicos antes de este protótipo poder ser utilizado em implementações reais mas,

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

neste ponto do projeto, a abordagem através do Scratch oferece aos mais novos a oportunidade de ganhar alguma experiencia de programação e de aprender a raciocinar sistematicamente de modo a conseguir resolver problemas simples.

Fig. 9–O projeto Micromouse, a correr no Scratch

V. Alguns Resultados e Futuros Desenvolvimentos

O concurso nacional representa uma das partes visíveis da iniciativa, onde os participantes podem demonstrar tudo o que aprenderam durante as aulas ou workshops como parte do processo de ensino e aprendizagem: o processo de desenho dos algoritmos que usaram; a identificação de alguns dos problemas e a pesquisa de possíveis ou soluções ótimas; testes e avaliação. Em linha com a visão da projeto, a edição de 2015 teve lugar em abril num local público de modo a captar a atenção de público diverso, no caso o Centro Comercial Dolce Vita Douro, em Vila Real (ver Fig. 10).

Fig. 10 - Micromouse Portuguese Contest® 2015

Esta edição contou com a participação de cinco equipas, uma equipa da Universidade, duas de escolas secundárias e duas de particulares. O evento também incluiu um *workshop* (obrigatório para as equipas participantes), onde estas apresentam os seus robôs, algoritmos e estratégias para a resolução do labirinto. O júri formado por elementos da Sociedade Portuguesa de Robótica atribui uma menção honrosa para a melhor apresentação, Fig. 11.

Neste artigo foi apresentada a versão portuguesa do concurso popular nos EUA e na Ásia, Micromouse Portuguese Contest®.

Fig. 11 – Equipas vencedoras (1º 2º e 3º) do Micromouse Portuguese Contest® 2015

Porém, em Portugal, este projeto não se refere apenas a um concurso e inclui também *workshops*, o desenvolvimento de um Kit de robótica, divulgação e a competição anual.

O projeto teve início em 2011 e todas as fases preliminares de divulgação e formação estão concluídas. Os primeiros resultados mostram um grande interesse e a participação ativa de todos os interessados. Sete escolas secundárias no distrito de Vila Real estão envolvidas, no entanto, os autores procuram o envolvimento de todo o nordeste de Portugal.

A avaliação completa do projeto ainda não está finalizada dado que a maior parte dos estudantes envolvidos que participou dos Workshops, são do 9º ano de escolaridade e somente daqui a três anos poderão concorrer à Universidade. Espera-se, no entanto, que muitos deles cheguem até à Universidade e entrem em cursos relacionados com CTEM. Os estudantes envolvidos são seguidos pelo projeto e no final espera-se publicar os resultados das suas escolhas. Durante a execução os autores envolveram toda a comunidade fazendo do Micromouse Portuguese Contest® um evento dos 8 aos 80 anos, *Robótica4all*, daí que se tenha sido desenvolvido um ambiente de programação gráfico para facilitar a participação de qualquer idade com mais ou menos conhecimentos de programação.

Durante o concurso Micromouse Portuguese Contest® aos estudantes é solicitado que encontrem resposta a questões de engenharia obtendo soluções tecnológicas que envolvem a resolução de problemas como forma de obterem o resultado final. Este processo pode ser visto como análogo do método científico necessário para levar a cabo os estudos científicos passo a passo, como via de resolução dos problemas.

A procura por quadros na área tecnológica tendencialmente continuará a crescer na próxima década e a preparação destes estudantes para esta economia impulsionada pela tecnologia requer reformas a todos os níveis, começando pelas escolas secundárias. O concurso Micromouse Portuguese Contest® e este projeto pretendem ser mais um contributo para uma melhor preparação de técnicos de IT capazes de vencer os desafios futuros dando também ferramentas às escolas secundárias que sirvam como complemento educativo estendendo a sala de aula com a integração das TI e assegurando mais conteúdos robustos nos cursos CTEM para os alunos prossigam os seus estudos fomentando a criatividade, o raciocínio matemático e a abstração contribuindo desta forma para a consolidação

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

de conceitos e enriquecimento das competências utilizando a robótica educativa.

Refira-se por fim que a aposta na tutoria através dos responsáveis pela formação sirva de incubadora para dotar os curricula dos cursos pré-universitários com novos conteúdos e atividades de enriquecimento complementar e de interesse ao desenvolvimento dos estudantes conforme preconizado em medidas semelhantes pela Direção Geral de Educação em Portugal [24]

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Núcleo de Estudantes de Engenharia Electrotécnica da UTAD (NEUTAD), ao Centro Comercial Dolce Vita Douro, à Globaltronic e Talents & Treasures pela harmonização com a iniciativa bem como a todos os participantes que, desde 2011, tornaram possível a existência do Micromouse Portuguese Contest®.

Este artigo foi financiado pelo ERDF – European Regional Development Fund através do programa COMPETE (*Programa* Operacional Factores de Competitividade) e por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia através do projeto «FCOMP - 01-0124-FEDER-022701».

REFERÊNCIAS

[1] M. Petre; B. Price, "Using robotics to motivate 'back door' learning," Education and Information Technologies, vol. 9, no. 2, pp. 147–158, 2004. (http://dx.doi.org/10.1023/B:EAIT.0000027927.78380.60)

[2] Robocup 2014, "http://www.robocup2014.org/" (acesso em 2016-03-29).

[3] N. B. Kiat, "Min7 Micromouse robot site," https://sites.google.com/site/ngbengkiat/Downhome/Topic1/min7 (acesso em 2016-03-29).

[4] Micromouse UK contest, "http://www.tic.ac.uk/Micromouse/", (acesso em 2016-03-29).

[5] Micromouse USA contest, "http://www.apec-conf.org/conference/participating-in-Micromouse/" (acesso em 2016-03-29).

[6] All Japan Micromouse Competition site, "http://www.ntf.or.jp/mouse/" (visited on 2016-03-19).

[7] The 21st Singapore Robotic Games 2014, "http://guppy.mpe.nus.edu.sg/srg/" (acesso em 2016-03-29).

[8] Taiwan Micromouse & Intelligent Robot Contest, "http://english.lhu.edu.tw/news/n2014_09_26.html" (acesso em 2016-03-29).

[9] Micromouse Portuguese Contest, "http://www.micromouse.utad.pt/" (acesso em 2016-03-29).

[10] Sociedade Portuguesa de Robótica "http://www.sprobotica.pt/index.php?view=article&id=76%3Amicromouse-portuguese-contest-2014&option=com_content&Itemid=70", (acesso em 2016-03-29).

[11] Anúncio do Micromouse Portuguese Contest® no Dolce Vita Douro, "http://robotica2015.utad.pt/pt-pt/FNRnews", http://www.noticiasdevilareal.com/noticias/index.php?action=getDetalhe&id=15846 (acesso em 2016-03-30);

[12] Instituto de Nacional da Propriedade Intelectual, "http://servicosonline.inpi.pt/pesquisas/main/marcas.jsp?lang=PT", (acesso em 2016-03-30)

[13] Arduino, "http://www.arduino.cc/en/Main/HomePage" (acesso em 2016-03-23).

[14] S. Mishra and P. Bande, "Maze solving algorithms for micro mouse," in Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems, ser. SITIS '08. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2008, pp. 86–93. (http://dx.doi.org/10.1109/SITIS.2008.104)

[15] Workshop na UTAD inserido na Semana Europeia da Robótica 2015, https://eu-robotics.net/cms/index.php?idart=4049, (acesso em 2016-03-23)

[16] Workshop Micromouse em Lisboa 2015, http://www.talents-e-treasures.pt/noticiasholder/workshop-introducao-ao-arduino/order/1049?start=15, (acesso em 2016-03-23)

[17] Workshop Micromouse em Águeda 2015, http://www.globaltronic.pt/noticias/nova-noticia-3/ ", (acesso em 2016-03-31)

[18] Elshamarka, I; Saman, A.B. S. (2012). "Design and Implementation of a Robot for Maze-Solving using Flood-Fill Algorithm". International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 56 –No.5, October 2012

[19] Bellman, Richard (1958). "On a routing problem". Quarterly of Applied Mathematics 16: 87–90. MR 0102435.

[20] Dijkstra, E. A note on two problems in connexion with graphs Numerische Mathematik, Springer-Verlag, 1959, 1, 269-27

[21] Hart, P. E.; Nilsson, N. J.; Raphael, B. (1968). "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths". IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics SSC4 4 (2): 100–107. doi:10.1109/TSSC.1968.300136

[22] Google, "Blockly - A Visual Programming Editor,"https://code.google.com/p/blockly/" (acesso em 2015-05-15).

[23] Lifelong Kindergarten Group from MIT Media Lab, "Scratch - Educational Programming Language," http://scratch.mit.edu/" (visited on 2015-05-15)

[24] Direção Geral de Educação em Portugal- Clubes de Programação e Robótica, "http://cpr.dge.mec.pt/" (acesso em 2016-03-31)

Sérgio Silva is a Phd Student @ School of Sciences and Technology Engineering Department, Vila Real.
MSc Electrical and Computer Engineering in 2013 with Master thesis "Blue Sensor - A bluetooth Approach to Glucose Sensor", Bachelor degree in Electronics and Telecommunication Engineering, in 1996 (before Bolonha) at University of Aveiro, Invited researcher at INESC TEC – ROBIS and full time Project Managerat Globaltronic. Sérgio is engaged in hardware developmentfor electronics, automation and robotic systems.

Salviano Soares is an assistant professor in the Engineering Department, Science and Technology School, UTAD, Portugal, and a researcher at IEETA - Institute of Electronics and Telematics Engineering, University of Aveiro, Portugal. He has been involved in R&D projects, funded by FCT, being Principal Investigator of three R&D industry projects namely Wireless Farm (w-Farm) in collaboration with Portugal Telecom Inovação. He has been involved in R&D projects, funded by FCT, being Principal Investigator of three R&D industry projects in the field of wireless applications, in the area of voice quality evaluation and in smart homes and Ambient Assisting Living namely the projects Wireless Farm (w-Farm), Enhanced VoIP (eVoIP) and AAL - care solutions, respectively, in collaboration with Portugal Telecom Inovação. He leads the R&D team to deliver engineering solutions for vending operators namely the project Vending Telemetry, incentive system for technology research and development in companies - SI I&DT, funded by National Strategic Reference Framework (QREN in Portugal). He is author/co-author of more than sixty scientific/technical papers presented in more than twenty countries, three book chapters, portuguese marks, utility model and one international patent. His main research interests are in the signal processing and its applications in Precision Viticulture and Agriculture in general.

António Valente is an Associate Professor with habilitation in the Engineering Department, Science and Technology School, UTAD, Portugal, and a researcher at INESCT TEC - INESC Technology and Science, Porto, Portugal. He has been involved in R&D projects, funded by FCT, and R&D industry projects namely Wireless Farm (w-Farm) in collaboration with Portugal Telecom Inovação. He has been involved in a National Science Foundation (USA) project leaded by Prof. Jan W. Hopmans (UC-Davis, Davis, EUA) - "Development of multi-functional heat pulse probe for ecological and hydrological monitoring of plant root zones". Actually is a researcher in a FCT project "Robotic Technologies for Non-Standard Design and Construction in Architecture". He is author/co-author of nineteen articles in journals and more than sixty papers in conference proceedings, has five book chapters and four books published, portuguese marks, utility model and two international patents. In their professional activities interacted with 163 researchers form several countries in co-authorship of scientific papers. He is member of editorial board of several international journals in sensors and measurements systems. His main research interests are in sensor systems (also in microsystems domain) mainly soil sensors and its applications in Precision Viticulture and Agriculture in general.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Rolando Barradas is graduated in Computer systems engineering and completed his MSc degree in Computer Education with the research "Gamification and Game-based learning: a ludic aproach to learning" at the Minho University, Portugal. His main studies are in the fields of gamification, game-based learning, usability and robotics applied to education. Currently works as teacher at Professional school Ruiz Costa and Colégio Paulo VI, teaching ICT, electronics and computer programming. Rolando is engaged with visual programming languages and development.

Paulo Bartolomeu received his PhD in Informatics Engineering from the University of Aveiro (Portugal) in 2014 after designing a new protocol supporting dependable wireless real-time communications for open environments. He also holds a MSc and a 5-year Licentiate degree in Electronics and Telecommunications Engineering from the same university.

Over the last decade, Paulo Bartolomeu has been involved in innumerous technological projects, first as a researcher and, later on, as executive manager. During this period, he has gained innovation, management and interpersonal relationship skills which have strongly contributed to the success of the projects he was involved in, both simple and complex. Currently, he is the Chief Technical Officer of an innovative engineering SME, where he is responsible for the development of new products in the areas of electronics, embedded systems and software applications.

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Página en Blanco

Capítulo 9

Análise Evolutiva dos Laboratórios Online

Raúl Cordeiro, José M. Fonseca y Gustavo R. Alves., *IEEE Member*

***Title* —Evolutionary Analisys of Online Labs.**

***Abstract* —Our intention with this work is to analyze the evolution of online lab systems, from theirorigins in 1898, with the radio-controlled missile made by Nikolas Tesla,to the present day. We also propose to analyze the evolution of the severalonline labs lines of development throughout their history, in an attempt to foresee their future development, taking into consideration the factors that condition each particular line and the actual state of development. We also intend toanalyzewhy some development lines are deadand why they did not survive, especially when considering the human factors associated with each online lab system.We intend to prove that we can apply the "Origin of Species" laws in Online labs.**

***Index Terms*— Online labs, remote labs, virtual labs, e-learning, b-learning, engineering education, engineering pedagogy.**

***Abstract*— A nossa intenção com este trabalho é analisar a evolução dos sistemas com laboratórios *online*, desde as suas origens em 1898 com um missiltelecontrolado, desenvolvido para a Marinha de Guerra dos Estados Unidos da América, por Nikolas Tesla, até ao tempo presente. Também nos propomos analisar a evolução de diferentes linhas de desenvolvimento de laboratórios *online*, analisando a sua história de modo a tentar prever o seu futuro desenvolvimento, tomando em consideração vários fatores que condicionam cada linha de desenvolvimento em particular e o seu atual estado de evolução. Também pretendemos analisar o porquê d algumas linhas se desenvolverem fortemente e outras não sobreviverem e acabam por morrer. Vamos dar uma atenção especial ao fator humano associado com cada uma das linhas de desenvolvimento dos laboratórios *online*, e como condiciona o seu desenvolvimento, e mesmo até a sua sobrevivência ou não. Pretendemos demonstrar que podemos também aplicar as teorias das leis da "Origem das Espécies" aos laboratórios *online*.**

***Index Terms* — Laboratórios "Online", laboratórios remotos, laboratórios virtuais, "e-learning", "b-learning", Educação e Engenharia, Pedagogia no ensino da engenharia.**

Este trabalho foi originalmente apresentado na 2015 International Conference Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality.

Raúl Cordeiro é Assistente Convidado, Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Setúbal, Diretor-Adjunto de formação do CINEL, raul.correia@estsetubal.ips.pt

José M. Fonseca é Professor da Facultade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, jmf@uninova.pt

G. R. Alves é do Departmento de Engenharia Electrica da Escola de Engenharia no Instituto Politecnico de Porto, Portugal, gca@isep.ipp.pt

I. Contexto e Motivação do Trabalho

A motivação que nos leva a desenvolver esta análise é o facto de acreditarmos que existe um comportamento e desenvolvimento quase "biológico" no padrão de evolução dos laboratórios *online*, e que particularmente depende dos fatores humanos, sua motivação e das condições de trabalho dos cientistas e técnicos que constroem e mantém estes sistemas.

As pessoas que desenham, criam e operam os diversos sistemas *online*, fazem-no de acordo com os seus desejos, motivações e objetivos. O ambiente envolvente também deve ser considerado como um fator importante que condiciona fortemente a evolução de cada linha de desenvolvimento de cada sistema de Laboratórios *online*.

A "**adaptação ao ambiente**", é uma componente muito importante do sistema proposto por Charles Darwin na obra "A Origem das Espécies", pois esta poderá ser aplicada não apenas a sistemas biológicos mas também a outros tipos de sistemas. Isto é também devido ao facto de hoje o conceito de "sistema" ser também muito mais alargado do que o conceito que existia no fim do século XIX, princípio do século XX. Hoje em dia todo e qualquer sistema é também considerado uma construção mental, ou mesmo um modelo mental. No entanto, alguns sistemas têm mesmo uma existência real, com componentes reais, neste caso de laboratórios reais. Tal como todos os sistemas que interagem com o ambiente exterior, os laboratórios online são também um modelo mental dum sistema aberto, e têm naturalmente associado a cada um deles também uma imagem e modelo matemático.

O conceito de "sistema" é mais do que um modelo matemático e uma ideia abstracta. Desde que foi escrito o livro de referência "General SystemsTheory"[1], por Bertallanffy, a filosofia e "conceito" de sistema mudou bastante. Atualmente o conceito de sistema apresenta um novo "paradigma", bastante longe da visão mecanicista que era aceite durante os anos 60. Concretamente, o termo "sistema" pode hoje ser aplicado não apenas a dispositivos científicos, mecânicos e/ou elétricos, mas também a fenómenos emocionais e sociais. Todos estes tipos de eventos podem ser considerados analisados e considerados como sistemas.

No nosso caso particular dos laboratórios online, além dos aspetos e fatores físicos e eletrónicos, deve ser considerado também um aspeto social que traduz a influência de todas as pessoas e grupos de pessoas que construíram e mantém um sistema de laboratórios *online*, mantendo-o "vivo".

Um sistema de laboratórios *online* não tem apenas a parte técnica e física,como por exemplo os componentes eletrónicos do próprio sistema, tem também uma parte social

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

e humana composta por todas as pessoas que criaram e mantém o sistema. Nós defendemos que esta componente social é muito importante na evolução e sobrevivência duma determinada linha de desenvolvimento de sistemas de laboratórios *online* pois depende muito da vivência e até da "tradição" de trabalho e dedicação dum determinado grupo de investigação, escola ou instituto. Se esse grupo de pessoas por alguma razão deixa de estar envolvido e motivado para o processo, então o sistema deixa de ser alimentado por experiências, material didático, etc…definha e "morre". Normalmente o site fica sem evolução ou sofre mesmo um "shutdown".

Após a introdução apresentada acima a secção 2 apresenta e analisa o atual estado-de-arte para Laboratórios Remotos e Virtuais (RVL-Remoteand Virtual Labs). Na secção 3 a nossa hipótese é apresentada e discutida.

Os conceitos de acoplamento estrutural e acoplamento energético são também apresentados e discutidos. É apresentada também a questão central de pesquisa e também uma linha temporal da evolução dos laboratórios *online*, e serão apresentadas e discutidas possíveis linhas de evolução para famílias e sistemas de laboratórios *online*. Na secção 4 são apresentados os objetivos a atingir com esta pesquisa. A estratégia para desenvolver este trabalho é apresentada na secção 5. Na secção 6 são apresentados os resultados e é discutida a sua validade. O estado da presente dissertação e processo de estudo é apresentado na secção 7, e finalmente as contribuições esperadas são apresentadas na secção 8.

II. Estado de Arte

Hoje em dia os laboratórios *online*, tornaram-se muito mais apelativos em vários cenários de educação, devido aos últimos avanços tecnológicos na área e à emergência de vários aspetos pedagógicos, que passaram a ser considerados na construção dos ambientes onde são incluídos os laboratórios *online* de modo a torná-los mais atrativos e eficazes nesses mesmos ambientes. A comunidade científica que analisa e estuda os laboratórios *online* está a crescer cada vez mais tal como é demonstrado em [2]. De facto atendendo justamente a [2], e também a [3][4][5] e ainda a [6], os laboratórios *online* apresentam uma série grande de vantagens em termos de contexto educacional, como por exemplo:

- Chegar a vários estudantes fisicamente localizados a grandes distâncias uns dos outros
- Manipular equipamento extremamente caro sem riscos de o danificar
- Experimentar tecnologias emergentes em atividades de ensino e formação
- Criar redes de investigadores e de instituições educacionais

Hoje em dia quase todas as áreas científicas e de investigação estão cobertas e abrangidas por laboratórios *online*, como por exemplo:

- Química [7]
- Farmácia[8]
- Cuidados de saúde[9]
- Matemática
- Física
- Eletrónica
- Instrumentação
- Hidráulica
- Energia Nuclear [10]
- Robótica, etc…

Este e outros progressos são publicados e publicitados pela comunidade já citada em [2] (ou *OLC – Online LabsCommunity*), que tem publicado intensamente sobre o assunto desde 1996. A publicação mais recente de 2014, reportada em [2], mostra que os principais editores de artigos científicos acercade laboratórios *online*são a *InternationalAssociationof Online Engineering (IAOE)*[11], e o *InstituteofElectricalandElectronicEngineers (IEEE)*[12]. Os principais fóruns de OLC [2], são as Conferências *REV - Remote Engineering and Virtual Instrumentation* [13], e o *international Journal of Online Engineering(iJOE)*[14]. Dando atenção especialmente ao ponto de vista pedagógico, embora existam várias teorias acerca da utilização dos laboratórios *online*, a ideia mais comumente aceite é que estes contribuem para um melhor entendimento das matérias de disciplinas tais como física e eletrónica. Não há dúvida que cursos com uma elevada componente prática baseada em laboratórios, mesmo sendo laboratórios online, têm um papel muito importante na educação científica [15]. Laboratórios remotos e simulados, ou seja laboratórios online, fornecem um meio de partilhar competências específicas e recursos, reduzindo aindaos custos e aumentando o nível pedagógico das experiências de educação.

Presentemente é considerado pedagógicamente aconselhável que as experiências existam nos dois ambientes de laboratórios online, i.e.em modo de laboratório virtual e em modo de laboratório remoto. Isto permite aos estudantes testar a mesma experiência várias vezes e repetir também a aquisição real de dados, o número de vezes que fôr necessário para compreender a experiência. Num laboratório virtual não existe acesso ao equipamento real, portanto não existe restrição ao número de acessos simultâneos.

Os estudantes podem aceder a um laboratório virtual sempre que quiserem e, se o laboratório o permitir, correr a experiência em modo rápido ou lento, parar a experiência em qualquer ponto, ou seja jogar com a dimensão tempo. Por outro lado, se trabalharmos num laboratório remoto fazemos sempre acesso a equipamento real, e o número de estudantes que pode trabalhar ao mesmo tempo pode ser restringido. Os laboratórios remotos que trabalham em modo *batch*, permitem servir simultaneamente um grande número de estudantes, e tipicamente este tipo de laboratórios correm todas as experiências em fracções de minuto, ou mesmo fracções de segundo. Na prática, os estudantes apenas experimentam um pequeno atraso, se outros estudantes estão a usar o mesmo laboratório ao mesmo tempo. O outro tipo de laboratórios remotos corresponde a um tipo de laboratórios remotos que suporta experiências que demoram vários minutos ou horas a serem concluídas. Este tipo de laboratórios remotos requerem mecanismos de agendamento de sessões para lidar e resolver situações de uso concorrente, portanto apresentam restrições em relação ao número total de estudantes que podem ser servidos mesmo estando o sistema disponível 24/24 hr durante 7 dias por semana.

Existem alguns exemplos de sistemas que suportam os dois tipos de laboratórios: virtuais e remotos. Podemos destacar o

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

sistema labicom[16], UNED "UNILabs"[17], e ainda o*IntelligentSchool Experimental System* (ISES)[18].
Finalmente podemos observar que a grande maioria dos laboratórios remotos e virtuais se referem à área da Engenharia, embora existam também laboratórios *online*nas áreas das ciências naturais, e noutras áreas da ciência.

III. Hipótese / Tese / Problema Endereçado

A. *Acoplamento Estrutural e Acoplamento Energético*

Vivemos hoje em dia num mundo e sociedade absolutamente materialista e mecaniscista, onde o fator humano tende cada vez mais a ser desvalorizado e os "recursos humanos" (até pela sua designação de "recursos"), tendem a ser considerados como simplesmente mais uma "peça da engrenagem" e não como pessoas e seres humanos.
Os objetivos a atingir por uma organização são normalmente de ordem física e, muito mais naturalmente, financeira. Os indivíduos que trabalham com os sistemas são normalmente esquecidos, e tudo e todos tendem a esquecer e menosprezar a importância do fator humano.
Então o que encontramos mais em todos os sistemas é quase sempre o que poderemos designar por acoplamento estrutural[19]. No entanto os sistemas também têm naturalmente um fator humano que não deve ser desconsiderado nem menosprezado, e este fator funciona várias vezes com uma dinâmica de grupo, grupo de pessoas que obedece mais a fatores de ordem social e emocional e menos a fatores de ordem técnica e científica.
Um sistema também depende portanto da energia que as pessoas envolvidas na sua construção, implementação e manutenção enviam para ele, e essa energia funciona como interações de grupo das pessoas que lidam no dia-a-dia com o sistema. Então podemos afirmar que a ligação entre a estrutura física e a energia dada pelas pessoas que trabalham com o sistema, para o próprio sistema pode ser identificada como a "ligação perdida", e essa ligação pode ser denominada **acoplamento energético**, tal como é mostrado na Fig. 1.

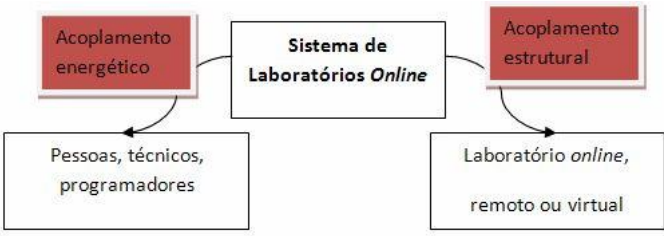


Figura 1. Acoplamento energético e acoplamento estrutural [trad.][20].

Um sistema depende da energia das pessoas que o construíram e o usam, e também naturalmente da energia que em cada instante investem no sistema. Essas pessoas funcionam como um grupo que influencia o comportamento e a "vida e morte" do sistema de laboratórios *online*, quando o mesmo é considerado como um sistema genérico.

B. *Questão Central de Pesquisa*

Se os sistemas de laboratórios *online* são uma consequência natural dos seus criadores, que são uma espécie do reino animal – os humanos – e que naturalmente seguem as leis da "Evolução das espécies" de *Darwin*, então provavelmente podemos aplicar as teorias evolutivas de *Darwin* à evolução dos laboratórios *online*, especialmente se considerarmos que os laboratórios *online* são uma espécie de sistema vivo em função das novas definições apresentadas por Bertallanffy[1].
Seguindo esta lógica de pensamento e desenvolvimento, pode ser possível identificar origens comuns, em algumas linhas de desenvolvimento observadas nos laboratórios *online*. Após realizar uma análise cuidada de cada uma das linhas de desenvolvimento cremos que será possível estabelecer que a evolução duma determinada linha dum laboratório *online* em particular, é também fortemente condicionada por fatores do ambiente envolvente, que podem por exemplo fazer com que duas linhas de desenvolvimento de laboratórios remotos vão divergir duma linha comum inicial, entre outras situações possíveis.
Todos os laboratórios online experimentam uma evolução diferente desde a sua conceção. Aceitando o facto de que o primeiro dispositivo que pode ser considerado como um laboratório remoto foi o míssil teleguiado desenvolvido em 1898 por Nikolas Tesla, podemos afirmar que a tabela 1, a seguir apresentada, representa efetivamente a evolução cronológica dos laboratórios *online*.

TABELA 1
Evolução cronológica dos laboratórios *online*[trad.][20]

Evolução cronológica →

1900's	1950's	1980's	1990's	1990-2000	2000-2010	Hoje
Cursos por correspondência por correio	Ensino a distância usando televisão	Ensino a distância usando cassetes de vídeo	BOOM da Internet	*E-learning*: LMS & CMS	Filosofia e sistemas B-learning	Sistemas integrados de *e-learning* com LMS, suporte pedagógico e laboratórios *online*
Míssil controlado por ondas rádio de Nikolas Tesla	1º Artigo: *"Electrically controlled manipulator"*	*Labview da National Instruments*	Laboratórios remotos começam a surgir em várias universidades Artigo de Carisa Bohus: "2nd Best thing..."	Projeto Mercury, RemLab, Netro Lab, VISIR	Laboratórios *Online* aplicados ao ensino e à indústria	

Um aspeto proposto na tabela 1 é a relação forte que se vai desenvolvendo entre laboratórios *online* e os sistemas de ensino a distância e o desenvolvimento dum acoplamento estrutural entre estes dois tipos de sistemas.
Uma representação concetual da evolução experienciada nos sistemas de laboratórios *online*é mostrada na figura 2.

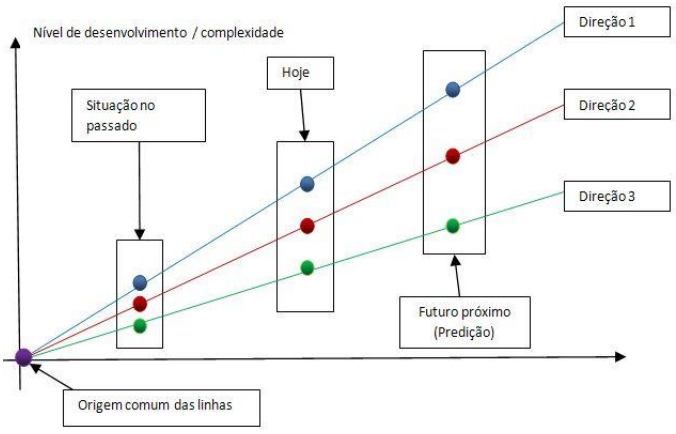


Figura 2. Linhas de evolução dos laboratórios*online*[trad.][20].

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Se considerarmos o estado de desenvolvimento de cada uma destas linhas de desenvolvimento podemos verificar que após o nascimento da linha dos laboratórios *online*podemos ir observando todos os fatores quea vão influenciar, e ir monitorizando o seu comportamento e evolução até ao momento presente. Analisando bem a sua evolução até esse momento podemos tentar fazer uma estimativa e previsão da sua evolução futura quer num futuro próximo,i.e. quase imediato, quer num futuro mais longínquo.

Podemos então tentar estimar qual será a sua evolução natural, se irão existir novas linhas e tendências de desenvolvimento, ou se algumas dessas linhas irão convergir, divergir ou eventualmente desaparecer de modo natural, até porque se o acoplamento energético for nulo, é porqueas pessoas que criaram e desenvolveram essa linha de laboratórios por alguma razão se desinteressarem do tema.

Seguindo a mesma linha de raciocínio, podemos tentar analisar quais serão os fatores ambientais (isto referindo-nos ao ambiente envolvente) e os fatores de acoplamento energético que irão implicar que algumas linhas terminem, e outras que se iniciem ou desenvolvam.

Então fazendo uma análise detalhada da linha de evolução temporaldos laboratórios online apresentada na tabela 1, e considerando o seu desenvolvimento envolvente e os seus acoplamentos estruturais nós podemos tentar predizer qual o tipo de envolvimento futuro que será de esperar de cada grupo de trabalho envolvido com os laboratórios *online*.

Então neste sentido definimos a principal questão de pesquisa:

"É possível predizer a evolução de alguns laboratórios online ***analisando a sua história de desenvolvimento e as razões (acoplamentos estruturais e energéticos) que estão por detrás da sua adaptação ao ambiente envolvente?"***

Podemos ainda estabelecer as seguintes questões adicionais:

"Será qua a evolução dos laboratórios online ***também segue as leis da natureza ?"***

"Os laboratórios online ***conseguem eles próprios adaptar-se ao ambiente envolvente ?"***

Como resultado direto da questão de pesquisa proposta, outra linha de estudo que pode ajudar a desenvolver este trabalho com previsõespoderá ser a caracterização do ambiente envolvente de cada par **Escola/Linha de laboratórios *online***, a sua correspondente história de desenvolvimento. Esta caracterização tem em consideração a capacidade de adaptação ao ambiente envolvente e os acoplamentos energéticos com as pessoas que criaram, desenvolveram e realizam a manutenção da linha de laboratórios *online*presentemente a ser estudada e desenvolvida.

IV. Objetivos da Pesquisa

A abrangência e objetivo deste trabalho é definir uma série de linhas de desenvolvimento das atuais linhas de laboratórios *online*, tomando em consideração os sistemas que efetivamente já existem há bastante tempo, outros que pararam de trabalhar e acabaram por "morrer" porquemais ninguém os desenvolveu e manteve (logo terminou o seu acoplamento energético) e ainda outros que estão a surgir no tempo presente.

Propomo-nos também analisar o ponto inicial de desenvolvimento de várias redes de laboratórios *online*, junto com as razões pelas quais cada rede seguiu caminhos de desenvolvimento diferentes, e quais as razões porque alguns desapareceram.

Tal como é mostrado na figura 2, a qual representa várias supostas linhas de desenvolvimento e predição de laboratórios *online*, podemos fazer uma análise mais detalhada de cada uma dessas linhas em quatro pontos temporais:

- O passado mais remoto, a sua origem;
- O passado mais recente;
- O tempo presente;
- O futuro.

Estamos em crer que será possível avançar algumas considerações acerca da sua futura evolução, tendo em consideração os fatores que nortearam a evolução dos laboratórios online até ao dia presente. Iremos dedicar uma especial atenção e tecer algumas considerações aos fatores que guiaram e nortearam a evolução dos laboratórios online até ao tempo presente.

Vamos dar uma especial atenção ao acoplamento estrutural, à evolução tecnológica[21] e aos fatores humanos que vão construindo o acoplamento energético ligado a cada um dos sistemas que vão influenciando potencialmente cada linha de desenvolvimento e pesquisa que iremos seguir.

Também pretendemos demonstrar e de algum modo postular que através do acoplamento energético e doutras razões técnicas e económicas que estão associadas às linhas de desenvolvimento de laboratórios *online*, eles de algum modo seguem as leis Darwinianas da teoria evolucionista de "A Origem das Espécies", e também são fortemente influenciados pelo ambiente envolvente em termos de pessoas, condicionamentos geográficos, económicos, e políticos, entre outros.

V. Método de Abordagem

A. *1ª Fase - Pesquisa*

O método de pesquisa proposto para abordar a evolução dos laboratórios *online*, consiste em analisar e quantificar o número de publicações, assim como a sua relevância, tentando estabelecer uma classificação para os fóruns onde nos propomos levar a cabo o estudo.

Estes fóruns podem assumir diferentes formas: jornais online, bases de dados científicas, atas de conferências, sites da internet, etc…

Os Fóruns selecionados serão primeiro organizados em três grupos ou "camadas" com diferente grau de importância a partir do tema central do estudo que pode estar no centro da questão, ou sejam os laboratórios online. Cada uma das camadas corresponde a uma área com um diferente grau de relacionamento com os laboratórios online.

Cada um dos fóruns corresponderá a um tema mais ou menos diretamente relacionado com a temática dos laboratórios *online*. Podemos considerá-los tal como se mostram na figura 3, numa filosofia circular do interior para o exterior.

Assim teremos os seguintes fóruns:

- Hardware e infraestrutura de Software - (HSI);
- Engenharia, Educação e Pedagogia (EEP);
- Laboratórios Remotos e Virtuais (RVL).

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Numa primeira fase serão escolhidos os seguintes fóruns de pesquisa:

- 3 fóruns para RVLs;
- 6 fóruns para EEP;
- 9 fóruns para HSI.

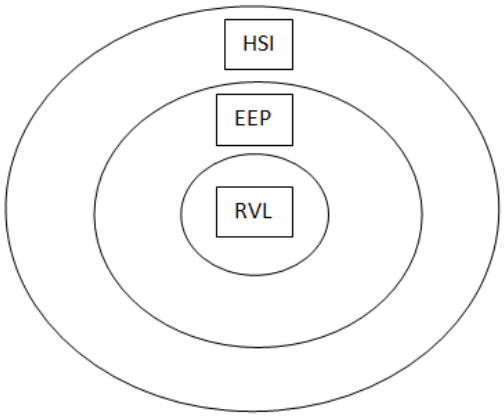


Figura 3: Áreas de incidência dos fóruns. Importância crescente do interior para o exterior[20].

O período de tempo para este estudo abrange 20 anos, desde 1995 a 2015. Numa primeira instância para cada um destes fóruns serão escolhidos 3 anos-chave: 1995, 2005 e 2015, o que irá corresponder ao ponto inicial do estudo (1995), a um ponto intermédio do estudo (2005) e a um ponto final (2015).
O que foi acontecendo no mundo em termos de laboratórios online vai ser analisado para cada um destes anos em particular.
Este estudo será feito considerando também a distribuição geográfica desses eventos, será apresentado uma mapa mundo com a indicação das cidades e países mais importantes onde existem redes de laboratórios *online*.
Para cada um dos sistemas será identificado:

- O local (cidade e país);
- Os laboratórios (acoplamento estrutural);
- As pessoas que trabalham com o sistema esempre que possível o seu líder (acoplamento energético), etc.

Na área "*core*" de RVLs, os fóruns escolhidos são:

- Conferências REV
- iJOE
- ConferênciasIEEE *Frontiers in Education*

A razão principal para esta escolha é a grande quantidade e alta qualidade dos artigos que se encontram nestes fóruns, e especialmente porque já vai havendo muita informação (especialmente sobre a forma de artigos) desde o início dos anos 90.

Na área secundária de EEP os fóruns escolhidos foram:

- Conferências EDUCON
- IEEE *Transactions on Education*
- IEEE *Transactions on Learning Technologies*
- *Journal of Engineering Education*
- *European Journal of Engineering Education*
- *international Journal of Engineering Pedagogy* (iJEP)

As razões que nos levaram a esta escolha foram a quantidade de artigos e a qualidade da informação, e ainda o facto de existir um número muito significativo de artigos desde os anos 1980 acerca do tema.

Finalmente na área geral de HSI os fóruns escolhidos foram:

- Atasdas conferências organizadas pela IEEE
- IEEE *Transactions in Industrial Electronics*
- IEEE *Transactions on Industrial Informatics*
- Conferências ICL
- ConferênciasTALE
- Research Gate Network
- Conferências do ACM emComputer-Human Interaction (CBI)
- Várias Publicações IEEE (referidas como "*Others IEEE Search*" na estrutura do Grupo do Mendeley mostrado na figura 4)
- E, finalmente, todo o tipo de livros dedicados a laboratórios *online*, ou livros com algum capítulo dedicado a essa temática.

Todos estes dados, resultantes do processo de pesquisa estão guardados num grupo representado como uma "Árvore do Mendeley" mostrada na figura 4 e acessível no seguinte URL http://www.mendeley.com/groups/6538621/onlinelabs-evolution/
Neste ponto do trabalho, a escolha dos grupos não é definitiva, poderá ser ainda possível encontrar melhores fontes de informação noutros fóruns, isto porque a pesquisa é um processo contínuo e está sempre em curso. Para cada ano que é verificado, os aspetos principais do ano são processados e categorizados, e os resultados mostrados num gráfico-radar como o mostrado na Figura 5.

Os pontos de abrangência do radar em cada ano refletem a importância dos seguintes itens:

1. Acoplamento estrutural / Infraestrutura de Hardware
2. Utilização e importância de "*Broker Server*"
3. Tecnologia da Informação utilizada e segurança da rede envolvida.
4. Upgrades/interfaces para o utilizador e acoplamento energético.
5. Aspetos pedagógicos, e ligação a um "*LearningManagementSystem" (LMS)* com apoio pedagógico e teórico.

Pretendemos utilizar este método para determinar quais os assuntos que foram considerados em menos profundidade e mesmo abandonados dum ano para o outro, e ainda analisar a situação ideal para definir uma linha de evolução e desenvolvimento para cada tipo de laboratório *online*.

B. 2ª Fase – Verificação

O ponto de partida será escolher um fórum com um elevado volume de informação, e ainda uma excelente qualidade a nível científico e pedagógico. Após esta análise propomo-nos considerar dois anos adicionais "intermédios": 2000 e 2010.
Toda a análise já feita para 1995, 2005 e 2015 será repetida para estes anos intermédios e 3 passos serão realizados:

- Procura de amostras;
- Compatibilidade de amostras iniciais;

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Figura 4. Árvore Mendeley do Grupo "Online LabsEvolution"[20].

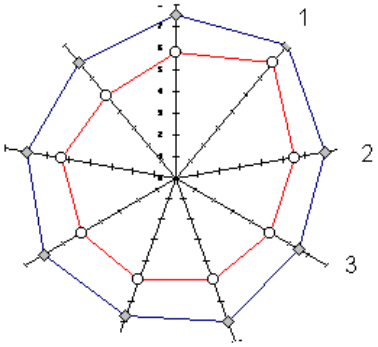


Figura 5. Gráfico-radar construído para cada ano analisado[20].

- Compatibilidade de amostras de controle;

Uma dupla análise será então realizada:

- Um fórum com análise detalhada para cada ano entre 1995 até 2015, depois - após uma análise mais detalhada - será escolhido um fórum em particular para uma análise intensiva ano por ano, começando em 1995. De momento ainda não existe um nível de informação definitiva para realizar uma escolha finaldo fórum.
- Análise de dois anos específicos, considerando todos os fóruns possíveis para esses anos: 2000 e 2010.

Utilizando este método iremos tentar estabelecer uma "linha de evolução" para cada família de laboratórios *online*.

VI. Resultados e sua Validação

A hipótese que pretendemos postular será confirmada pelos resultados que pretendemos encontrar durante o desenvolvimento do estudo.

De momento a nossa observação do ambiente permite-nos verificar que algumas das linhas de desenvolvimento que convergem para a confirmação da nossa hipótese acerca da importância do acoplamento energético em sistemas de laboratórios online.

Os exemplos seguintes indicam alguns pontos de ligação entre o desenvolvimento dos laboratórios *online*, e as redes envolvidas, a teoria da evolução Darwiniana baseada na "AOrigem das Espécies". Estes exemplos ilustram também algumas situações de adaptação ao ambiente envolvente.

A. *Alguns Exemplos que Validam as Hipóteses*

Analisando a evolução dos laboratórios *online*, mesmo desde o seu início nos últimos anos do século XIX (míssil teleguiado construído por Tesla) até aos dias de hoje podemos observar diferentes linhas de desenvolvimento dos laboratórios *online*. Podemos também notar que a evolução destas linhas segue diferentes caminhos e direções de acordo com o ambiente envolvente de cada instituição que optou por desenvolver uma linha particular de investigação e desenvolvimento, e especialmente considerando as pessoas que trabalharam e mantiveram a funcionar estes sistemas de laboratórios online.

Estas são algumas das linhas que emergem do acoplamento energético. Se num determinado sistema há uma ausência total de acoplamento energético, essa linha de desenvolvimento acaba por morrer, tal como os laboratórios e sistemas que estão ligados a ela. Esse sistema deixa de ter quem cuide dele e o mantenha, os servidores são desligados, assim como os laboratórios que estejam ligados a ele. Desta forma o sistema deixa de estar online e acessível pela internet.

Nós defendemos que os sistemas essencialmente dependem das pessoas que os criam e operam e também do ambiente envolvente das instituições onde os sistemas são desenvolvidos. Os próximos 4 exemplos fundamentam esta hipótese.

- A rede nacional indiana de laboratórios *online*, a qual é suportada pelo governo indiano, foi construída eimplementada como uma estratégia para criar laboratórios e possibilitar aos estudantes terem acesso a estes, atingindo assim todos os estudantes ao longo de todo o país, mesmo nas áreas mais remotas onde as escolas não têm condições de terem laboratórios. O sistema tem como público-alvo não só os estudantes das Universidades, mas também os estudantes do ensino secundário. Especialmente no ensino secundário há escolas em localidades muito remotas onde não há possibilidade da construção de laboratórios, e esta rede permite aos estudantesutilizarem esses laboratórios. Na realidade, este caso é uma adaptação ao ambiente envolvente (grandes distâncias) e orçamentos limitados[22].
- A rede Labshare na Austrália é outro exemplo, foi desenvolvida pela *UniversityofSouthAustralia*, e o seu objetivo é construir um conjunto completo de

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

laboratórios *online*, em diferentes campos da ciência (eletrónica, física, etc…), disponível para todos os estudantes em todas as universidades da Austrália e no estrangeiro, especialmente em países onde existem vários alunos das universidades da Austrália, tais como Singapura, Indonésia e Malásia. Naturalmente que uma das razões principais para desenvolver este sistema são as grandes distâncias entre as cidades australianas e também a vantagem económica da atracão de estudantes *off-shore* para a universidade. Esta é outra prova da adaptação ao ambiente envolvente tal como descrito na teoria da "AOrigem das Espécies". Infelizmente o seu acoplamento energético é agora muito fraco, porque o portaldesta rede, o qual ainda está online, não é atualizado desde Maio de 2012[23].

- A rede *NetLab* é outro exemplo de projeto desenvolvido pela *UniversityofSouthAustralia*, no âmbito da sua política de inovação e desenvolvimento de novas tecnologias.*NetLab* é uma rede de laboratórios remotos, que é usada por pessoal académico para ensino e demonstrações de sistemas durante as aulas, e por estudantes que conduzem as suas experiências remotamente em equipamentos reais de laboratório. A aplicação apresenta aos utilizadores uma interface gráfica que se parece exatamente com os equipamentos reais de laboratório. Os utilizadores podem "clicar" nos botões e rodarem-nos com o rato, interagindo com a interface gráfica, do mesmo modo que interagem com os equipamentos reais. A rede à volta deste laboratório remoto (*NetLab*) é menor e tem muito menos abrangência que a rede *Labshare*, mas é bastante parecida nas suas características,e vários professores e estudantes usam esta rede. Eles alimentam o sistema com informação e experiências remotas mantendo um acoplamento energético muito forte[24].
- A rede VISIR (*Virtual InstrumentSystemsinReality*) começou a sua "vida" na Suécia no *BlekingeInstituteofTechnology (*BTH*)*, e começou a ser desenvolvida pelo Professor IngvarGustavsson. Está hoje "muito viva" porque funciona atualmente como sendo uma federação de laboratórios *online*, cujos membros são várias universidades e institutos. As instituições que hoje compõem a rede VISIR são:
  - BTH, Karlskrona, Suécia
  - Politécnico do Porto– Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
  - Universidade deDeusto (UD), Bilbao, Espanha
  - Universidade Técnica de Viena, Áustria
  - Universidade de Ciências Aplicadas de Villach, Áustria
  - Universidade Nacional de Ensino a Distância (UNED), Madrid, Espanha
  - Instituto Indiano de Tecnologia (IIT), Madras, Índia

O acoplamento energético é extremamente forte na rede VISIR devido ao facto de esta conter elementos de várias universidades e vários desses elementos estão fortemente motivados a desenvolver e manter esta rede. Muitos estão a desenvolver e a trabalhar em novos materiais pedagógicos e técnicos e no seu desenvolvimento. Por ser uma federação de instituições, cada grupo ou instituição desenvolve as suas próprias estruturas de suporte e laboratórios. Os laboratórios estão no entanto interligados o que cria uma forte dinâmica entre todos os participantes que mantêm encontros regulares e discutem amiúde a evolução da rede, logo existe um acoplamento energético muito forte entre as pessoas que criaram e mantêm a rede VISIR e os próprios sistemas em si. De modo a dinamizar ainda mais todo o processo existe um *"SpecialInterestGroup"*(SIG), associado com a rede VISIR, que distribui regularmente informação pelo sistema de Dropbox e que também tem um portalsediado em: http://www.online-engineering.org/index.php. A existência deste *SIG* é umaevidência do forte acoplamento energético que existe à volta da rede VISIR[25][26][27][28][29][30].

VII. Estado do Trabalho

É necessário cumprir um determinado número de passos para cumprir todo o trabalho proposto. Apresentam-se de seguida esses passos numerados, pela ordem inerente à estratégia proposta:

1- Estudar a teoria evolucionista de Darwin e todos os seus fundamentos e conceitos.
2- Estudar os livros "*General SystemsTheory*" de Ludwig vanBertallanffy[1] e "Teoria Geral de Sistemas" de JoãoBosco[19].
3- Definir o conceito de "acoplamento energético", em complemento ao conceito de "acoplamento estrutural" tal como é apresentado por JoãoBosco[19].
4- Definir um laboratório remoto ou virtual como sendo um sistema com "acoplamento estrutural" e "acoplamento energético", e desenvolver as interações ator-rede em cada estudo de caso.
5- Apresentar um estudo da origem dos laboratórios *online*.
6- Produzir uma linha temporal da história dos laboratórios *online*, desde a sua origem até aos nossos dias.
7- Analisar as diferentes linhas de desenvolvimento dos sistemas de laboratórios *online*.
8- Apresentar uma análise da evolução dos laboratórios *online* relacionando-os com a evolução definida na teoria Darwiniana exposta na obra "*A Origem das Espécies"* e evidenciando "a adaptação ao ambiente envolvente" em cada uma das linhas de evolução identificadas.
9- Considerando o "passado mais remoto", o "passado recente", o "presente" e o "futuro", tentar analisar direções futuras em cada uma das linhas de desenvolvimento dos laboratórios *online*, hoje "vivas".
10- Postular as conclusões a que chegaremos no estudo.

Até ao presente momento todos os pontos do 1 ao 6 já foram cumpridos, enquanto os pontos 7 a 10 ainda estão a ser desenvolvidos no decurso do presente trabalho de doutoramento.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

VIII. Contribuições Correntes e Esperadas

Esperamos que as contribuições correntes e esperadas para este trabalho sejam uma ajuda preciosa para a compreensão da evolução dos laboratórios *online*.

Adicionalmente podem servir como um guia para aqueles grupos que estão já a desenvolver e manter um sistema de laboratórios online, ou para grupos de investigação e desenvolvimento que desejem criar um novo sistema, desde uma base nula.

Perceber porque alguns sistemas "morreram" e porque outros ainda estão a funcionar é uma importante contribuição para a comunidade ligada aos laboratórios *online*e para algumas das associações que lidam diariamente com este importante tópico, tais como o IAOE (*InternationalAssociationof Online Engineering*) e o GOLC (*Global Online Laboratory Consortium*).

References

[1] L. Bertallanffy, *General System Theory*, Revised. New York: George Braziller, 1969.

[2] M. Zappatore, A. Longo, and M. A. Bochicchio, "The Bibliographic Reference Collection GRC2014 for the Online Laboratory Research Community," no. February, pp. 24–31, 2015.

[3] J. García Zubía and G. Alves, " Two Little Ducks and Remote Experimentation", *Using Remote Labs in Education Deusto* University of Deusto,2011.

[4] L. F. dos S. Gomes and J. García Zubía, *Advances on remote laboratories and e-learning experiences*, vol. 6. University of Deusto, 2007.

[5] Abul K.M. Azad, U. Northern Illinois University, Michael E. Auer, A. Carinthia University of Applied Sciences, V. Judson Harward, and U. Massachusetts Institute of Technology, *Internet Accessible Remote Laboratories: Scalable E-Learning Tools for Engineering and Science Disciplines*. Engineering Science Reference (an imprint of IGI Global)

[6] S. Bogosyan, L. Gomes, "Current Trends in Remote Laboratories," *IEEE Trans. Ind. Electron. (Volume56 , Issue 12)*, pp. 4744 – 4756, 2009.

[7] J. C. G. Bolaños and L. L. Contreras, "Virtual laboratory for supporting chemistry learning and practicing," in *2010 IEEE Education Engineering Conference, EDUCON 2010*, 2010, pp. 1949–1954.

[8] J. Garcia-Zubia, I. Trueba, and D. Lopez-de-Ipina, "WEB 2.0 Pharmacy Robots," *Int. J. Online Eng.*, vol. 6, no. SI1, pp. 12–18, 2010.

[9] L. J. Bean, J. Fridovich-Keil, M. Hegde, M. K. Rudd, and K. B. Garber, "The virtual diagnostic laboratory: a new way of teaching undergraduate medical students about genetic testing.," *Genet. Med.*, vol. 13, no. 11, pp. 973–7, 2011.

[10] S. . Malkawi and O. . Al-Araidah, "Students' assessment of interactive distance experimentation in nuclear reactor physics laboratory education," *Eur. J. Eng. Educ.*, vol. 38, no. 5, pp. 512–518, 2013.

[11] "The International Association of Online Engineering (IAOE)." [Online]. Available: http://www.online-engineering.org/. [Accessed: 20-May-2006].

[12] "IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers." [Online]. Available: www.ieee.org. [Accessed: 01-Jun-2015].

[13] "REV Conferences." [Online]. Available: http://www.rev-conference.org/. [Accessed: 01-Jun-2015].

[14] "iJOE Journal." [Online]. Available: www.i-joe.org. [Accessed: 01-Jun-2015].

[15] J. Ma and J. V. Nickerson, "Hands-on, simulated, and remote laboratories," *ACM Comput. Surv.*, vol. 38, no. 3, p. 7–es, 2006.

[16] B. S. university- Moscow, "Labicom." [Online]. Available: https://labicom.net/demo/.

[17] UNED, "UNILABS." [Online]. Available: http://unilabs.dia.uned.es/. [Accessed: 01-Jun-2015].

[18] F. Schauer, M. Krbecek, and M. Ozvoldova, "Controlling programs for remote experiments by easy remote ISES (ER-ISES)," in *2013 10th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV 2013*, 2013.

[19] J. B. da M. Alves, *Teoria Geral de Sistemas*, 1st ed. Florianópolis: Instituto Stella, 2012.

[20] R. Cordeiro, G. Alves, and J. Fonseca, "Evolutionary Analysis of Online Labs," *TEEM Conf.*, 2015.

[21] C. Gravier, J. Fayolle, B. Bayard, M. Ates, and J. Lardon, "State of the art about remote laboratories paradigms-foundations of ongoing mutations," *iJOE*, vol. 4, no. 1, pp. 19–25, 2008.

[22] "Virtual Labs (India)." [Online]. Available: http://www.vlab.co.in.

[23] "The Labshare Institute"." [Online]. Available: http://www.labshare.edu.au.

[24] "NetLab." [Online]. Available: http://netlab.unisa.edu.au.

[25] S. Odeh, M. Anabtawi, G. R. Alves, I. Gustavsson, and L. Arafeh, "Assessing the remote engineering lab VISIR at Al-Quds university in Palestine," *Int. J. Online Eng.*, vol. 11, no. 1, pp. 35–38, 2015.

[26] M. A. Marques, M. C. Viegas, M. C. Costa-Lobo, A. V. Fidalgo, G. R. Alves, J. S. Rocha, and I. Gustavsson, "How remote labs impact on course outcomes: Various practices using VISIR," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 57, no. 3, pp. 151–159, 2014.

[27] I. Gustavsson, K. Nilsson, J. Zackrisson, J. Garcia-Zubia, U. Hernandez-Jayo, A. Nafalski, Z. Nedic, Özdemir Gol, J. MacHotka, M. I. Pettersson, T. Lagö, and L. Hkansson, "On objectives of instructional laboratories, individual assessment, and use of collaborative remote laboratories," *IEEE Trans. Learn. Technol.*, vol. 2, no. 4, pp. 263–274, 2009.

[28] M. Tawfik, E. Sancristobal, S. Martín, C. Gil, A. Pesquera, P. Losada, G. Díaz, J. Peire, M. Castro, J. García-Zubia, U. Hernández, P. Orduña, I. Angulo, M. C. C. Lobo, M. A. Marques, M. C. Viegas, and G. R. Alves, "VISIR deployment in undergraduate engineering practices," in *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*, 2011.

[29] I. Gustavsson, G. Alves, R. Costa, K. Nilsson, and J. Zackrisson, "The VISIR Open Lab Platform 5 . 0 - an architecture for a federation of remote laboratories," *REV 2011 Proc.*, pp. 284–288, 2011.

[30] G. R. Alves, M. A. Marques, C. Viegas, M. C. Costa Lobo, R. G. Barral, R. J. Couto, F. L. Jacob, C. A. Ramos, G. M. Vilão, D. S. Covita, J. Alves, P. S. Guimaraes, and I. Gustavsson, "Using VISIR in a large undergraduate course: Preliminary assessment results," in *2011 IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON 2011*, 2011, pp. 1125–1132.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Capítulo 10

Diseño e Implementación de un Módulo de Analítica de Aprendizaje, y su Aplicación para la Evaluación de Experiencias Educativas

José A. Ruipérez-Valiente, Pedro J. Muñoz-Merino, *Senior Member*, IEEE y Carlos Delgado Kloos, *Senior Member*, IEEE

***Title* — Design and Implementation of a Learning Analytics Module, and its Application for Evaluating Educational Experiences**

***Abstract* — Most e-learning platforms are able to collect large datasets of students' interactions as events; however that data is difficult to be interpreted directly by learning stakeholders. In this work we unify and connect several of our previous research studies giving a general context of our learning analytics research on Khan Academy. We propose a set of interesting indicators in order to learn more about the learning process. Furthermore, we have designed and implemented a learning analytics module called ALAS-KA which displays individual and class visualizations for these parameters. Finally we make use of ALAS-KA and the parameters to evaluate learning experiences.**

***Index Terms* — Data visualization, distance learning, learning analytics, systems engineering education**

***Abstract* — La mayoría de plataformas de aprendizaje virtual recopilan grandes cantidades de datos, pero éstos son difícilmente interpretables directamente por los actores que intervienen en el aprendizaje. En este trabajo unificamos y conectamos diversos trabajos que hemos realizado, dando un contexto general de nuestra investigación en analítica de aprendizaje sobre la plataforma Khan Academy. Para ello, se proponen una serie de indicadores relacionados con el proceso de aprendizaje de los estudiantes y cómo implementarlos. Además, se ha desarrollado la aplicación de analítica de aprendizaje ALAS-KA. Finalmente se dan ejemplos de cómo usar dichos indicadores y ALAS-KA para evaluar experiencias educativas.**

***Index Terms*— Analítica de aprendizaje, aprendizaje a distancia, sistemas para educación a la ingeniería, visualización de datos**

Diferentes partes de este trabajo han sido parcialmente presentadas originalmente en otras publicaciones [13]–[17].

José A. Ruipérez-Valiente, Pedro J. Muñoz-Merino and Carlos Delgado Kloos pertenecen al Departamento de Ingeniería Telemática, Universidad Carlos III de Madrid, Avenida Universidad 30, 28911 Leganés (Madrid) España. E-mail: {jruipere, pedmume, cdk}@it.uc3m.es

José A. Ruipérez-Valiente también pertenece a IMDEA Networks Institute, Av. del Mar Mediterráneo 22, 28918 Leganés (Madrid) España.

I. Introducción

En los últimos años ha habido un incremento de la educación a distancia utilizando plataformas de aprendizaje virtual, ya sea mediante cursos completamente online o combinando educación presencial y online. Las plataformas denominadas LMSs (Learning Management Systems) como Moodle, WebCT, dotLRN o Dokeos han sido las mayormente empleadas para contener los cursos y clases virtuales.

En la actualidad, ha surgido con fuerza el término MOOC (Massive Online Open Course). Estos cursos masivos abiertos online, se diferencian de lo que ya venía siendo habitual desde hace tiempo por distintas universidades, precisamente en ese componente que aglutina a tanta gente al mismo tiempo: un mismo curso al que cualquiera se puede suscribir, bajo un calendario, siendo tomado por miles de alumnos simultáneamente en todas las partes del mundo. Algunas de las plataformas que han surgido para dar respuesta a este nuevo paradigma son Coursera, Udacity, edX, MiriadaX o Khan Academy.

Entre las necesidades que surgen con la aparición de los MOOCs, se acrecienta la de tener una analítica de aprendizaje (learning analytics) potente, que permita realizar un seguimiento automático detallado de los alumnos y así poder supervisarlos de forma sencilla. Este aumento de necesidad de herramientas automáticas para evaluar el proceso de aprendizaje se justifica debido a la gran cantidad de alumnos que hay en estos cursos.

Nuestra motivación en este trabajo es conectar distintas investigaciones que hemos realizado con anterioridad con el fin de dar un flujo completo al proceso de analítica de aprendizaje que hemos seguido en Khan Academy. Para ello se revisaran una serie de parámetros de alto nivel que transforman los datos generados por los estudiantes para poder mejorar el proceso de aprendizaje, lo cual es un gran reto. La clave se encuentra en determinar la información que resulta de utilidad para mejorar el proceso de aprendizaje, y cómo es posible conseguirla mediante una transformación de los datos que se encuentran disponibles. Dicha información y la forma de obtenerla depende en muchos casos del tipo de plataforma a considerar: su semántica,

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

funcionalidades concretas o el tipo de uso que se le vaya a dar al curso.

En este trabajo nos gustaría ser capaces de responder a preguntas como por ejemplo: ¿Qué usuario ha sido más eficiente?, ¿Está motivado por los elementos de ludificación?, ¿En qué horario del día trabaja mejor?, ¿Ha abusado de pistas?, ¿Qué alumno ha sido más constante? Este conocimiento puede proporcionar las vías a los profesores para ser capaces de actuar antes de que un estudiante abandone el curso, de realizar recomendaciones personalizadas en función de los resultados de cada estudiante, o adaptar los contenidos del curso en función de las preferencias y hábitos de los usuarios. Así mismo, puede proporcionar a los alumnos un medio de autorreflexión de su aprendizaje para intentar cambiar determinados hábitos y para mejorar su motivación hacia el aprendizaje virtual.

Por ello en este trabajo se plantean 3 objetivos principales, que se encuentran conectados para completar el proceso de analítica de aprendizaje que hemos seguido:

1. En primer lugar definir una serie de parámetros que transforman los datos de bajo nivel que contiene la base de datos de Khan Academy en información de alto nivel que ayuda a conocer más acerca del proceso de aprendizaje y se ha establecido la manera de procesarlos con fórmulas concretas.
2. En segundo lugar el desarrollo de ALAS-KA, que es la aplicación que implementará dichos parámetros de alto nivel que serán obtenidos a través de algoritmos que procesaran los datos generados en Khan Academy. ALAS-KA es una herramienta de analítica de aprendizaje que implementará un panel de visualizaciones que podrá ser accedido por los profesores y alumnos cuando estén interactuando con un curso de Khan Academy. Los parámetros procesados serán transmitidos a estudiantes y alumnos mediante visualizaciones individuales y de clase.
3. En tercer lugar se utilizará este módulo y los parámetros definidos para evaluar el proceso de aprendizaje, ilustrándolo en los cursos 0 de la Universidad Carlos III de Madrid que son atendidos por los estudiantes de primer año y en los cuáles se usa Khan Academy como soporte. El módulo ALAS-KA y sus parámetros se utilizará para la evaluación de dichas experiencias con estudiantes reales y las conclusiones obtenidas servirán para ver cuáles han sido los resultados, mejorar el proceso de aprendizaje de estudiantes y profesores así como poder detectar problemas y solucionarlos de cara a los cursos en los siguientes años.

II. Estado del Arte

En la actualidad la mayoría de los servicios y herramientas han sido informatizados y se están generando más datos que nunca. Algunos informes como el de IBM [1] estiman que el 90% de los datos existentes han sido creados en los últimos dos años debido al *boom* que ha habido en el sector.

En el sector del aprendizaje virtual también se hace uso de los datos generados para extraer información que sea de utilidad para profesores, alumnos y otros agentes involucrados en el aprendizaje. De acuerdo a la 1º Conferencia Internacional en Analítica de Aprendizaje y Conocimiento [2], analítica de aprendizaje se describe como *"la medida, recolección, análisis e informe de los datos sobre los estudiantes y sus contextos, con el propósito de entender y optimizar el aprendizaje y el entorno en el que ocurre"*. En el ámbito del aprendizaje virtual hay varios términos relacionados con "learning analytics" como las "academics analytics" o el "educational data mining". El término "academics analytics" está más relacionado con la explotación de grandes bases de datos educacionales a nivel institucional [3], mientras que "learning analytics" se centra más en el proceso de aprendizaje del alumno.

El ciclo que engloba el proceso de analítica de aprendizaje es un tema que ha sido abordado en diferentes publicaciones. Por ejemplo, se puede definir como un proceso con 5 pasos que son Captura, Informar, Predecir, Actuar y Refinar [4]. Otro trabajo lo define como un ciclo en el que los estudiantes generan datos y con esos datos se procesan unas métricas, dónde el paso clave es cerrar el ciclo con intervenciones y *feedback* sobre esos resultados para mejorar el proceso [5]. Esta última aproximación se asemeja más a la forma en la que nosotros aplicamos analítica de aprendizaje.

Otros trabajos también han abordado el procesado de datos para obtener información inteligente, por ejemplo para detectar los comportamientos que hace el usuario al intentar resolver un problema [6] o para intentar estimar el rendimiento y puntuación obtenido en un examen antes de que el alumno lo realice [7].

También se pueden encontrar en la literatura herramientas de visualización similares a ALAS-KA. Por ejemplo para soportar la monitorización del trabajo en un entorno personal de aprendizaje con la herramienta CAMera [8]. Otras dos herramientas muy similares a ALAS-KA son en primer lugar CourseVis [9], que es una plataforma de visualizaciones que realiza un seguimiento de los datos creados en WebCT y Moodog [10] que está implementada como un plug-in para explotar los datos generados en Moodle.

Se pueden encontrar otras posibles herramientas basadas en analítica de aprendizaje, por ejemplo sistemas recomendadores para aconsejar recursos a los estudiantes [11] o para la formación de grupos de trabajo en base a estudiantes que tengan características similares [12].

III. Propuesta de Parámetros de Alto Nivel

Esta sección se centra en el diseño propuesto de los parámetros de alto nivel a partir de los datos de bajo nivel generados por el entorno educativo. El proceso para el diseño de estas medidas conlleva tanto un análisis exhaustivo de los datos disponibles en la base de datos, así como establecer cuáles son las informaciones relacionadas con el aprendizaje que se pueden y se desean alcanzar. Los distintos parámetros propuestos están agrupados por funcionalidad en 5 bloques. Información más detallada sobre el cálculo de dichos parámetros ha sido publicada con anterioridad [13], [14].

A. Progreso Total en la Plataforma

Los parámetros pertenecientes a este bloque se van a centrar en describir cuánto ha interactuado el usuario con la plataforma. No van a valorar si el usuario lo ha hecho bien o mal, sino la cantidad de interacción total, ejercicios y videos

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

accedidos, tiempo empleado, etcétera. El objetivo de estas medidas es el de dar una idea de si el usuario ha participado mucho o poco con la plataforma al margen de que lo haya hecho bien o mal

- **Uso efectivo de la plataforma:** El objetivo de esta medida es dar una idea global de cuanto ha usado un usuario la plataforma en relación a los recursos disponibles que se encuentran en ella (en este caso vídeos y ejercicios).
- **Abandono de vídeos o ejercicios:** Esta medida está relacionada con si el usuario deja sin terminar los recursos que comienza. Para el caso de los vídeos sería la búsqueda de usuarios que comienzan vídeos pero no lo llega a terminar. Para el caso de los ejercicios se propone que sea aquellos usuarios que comienzan un ejercicio pero no llegan a alcanzar la *proficiency*.
- **Tiempo total en la plataforma:** Cálculo del tiempo empleado por el estudiante en ejercicios y vídeos en la durante su interacción con la plataforma.
- **Uso de elementos opcionales:** La plataforma Khan Academy también incluye algunos elementos opcionales que no son de uso obligatorio para realizar ejercicios o ver videos ni son necesarios para superar el curso. En esta medida se analiza qué usuarios hacen uso de ellos con una ponderación [15].
- **Focalizador de vídeos o ejercicios:** Se analiza el tipo de recursos en el cual focaliza el usuario más su interacción en proporción, puede indicar qué estrategia de aprendizaje sigue cada usuario.

B. Progreso Correcto en la Plataforma

El objetivo de este bloque de medidas es analizar el progreso correcto del usuario dentro de la plataforma. Al contrario del punto anterior, dónde sólo medíamos la cantidad de uso, en este bloque sí se valora lo bien que lo haya hecho el usuario. Estas medidas se dividen principalmente en dos tipos: relacionadas con el progreso que ha hecho el usuario tanto en ejercicios como en vídeos, y relacionadas con la eficiencia del usuario progresando en los vídeos y ejercicios:

- **Efectividad en ejercicios:** Función específica adaptada al cálculo del progreso efectivo en ejercicios que tiene en consideración el entorno y especificidades de Khan Academy [16].
- **Efectividad en vídeos:** Función específica adaptada al cálculo del progreso efectivo en vídeos [16].
- **Eficiencia en ejercicios:** Se calcula una eficiencia para resolver ejercicios correctamente por primera vez, en esta medida se combina el número de intentos y el tiempo necesario para resolver correctamente el primer ejercicio de cada tipo.
- **Eficiencia en vídeos:** El concepto de eficiencia relacionada con videos sería relativo a aquellos videos que se han completado o se ha alcanzado un mínimo de porcentaje completado. En dichos vídeos, si el usuario ha repetido trozos de la visualización del video, es decir, si ha tenido que visualizarlo más de una vez habría que considerar que ha sido menos eficiente.

C. Distribución del Tiempo de Uso de la Plataforma

En esta sección se analizan los hábitos temporales de los estudiantes en su interacción con la plataforma. Una de las medidas más directas que podemos ver de este análisis es el tramo temporal (mañana, tarde o noche) en el que cada usuario focaliza su aprendizaje. Esto también permite analizar con facilidad en que horario una clase tiene más usuarios trabajando. Además se pueden calcular eficiencias de cada usuario en cada uno de ellos, que en ocasiones permiten encontrar horarios en los que un estudiante puede trabajar mejor. También se puede analizar la constancia en el aprendizaje del usuario durante el progreso del curso.

- **Uso de la plataforma y eficiencia por intervalos horarios:** Esta medida se centra en dividir el día en tres intervalos que son de mañana, tarde y noche. Posteriormente se calcula el tiempo dedicado en ejercicios y vídeos en cada uno de estos intervalos para ver en cuál de ellos se focaliza el trabajo de un estudiante. También es posible utilizar dichos intervalos para calcular eficiencias resolviendo ejercicios bien en cada uno de los intervalos.
- **Media y varianza del tiempo de uso diario:** La media muestral representará una idea de la cantidad de trabajo que ha realizado el alumno a lo largo del curso. Por otra parte, cuanto mayor sea la varianza indicará que el usuario ha sido más inconstante con respecto de su media. Cuanto menor sea, implicará que su trabajo diario se encuentra más cercano a su valor medio, es decir habrá sido más constante.

D. Hábitos de Ludificación

Tal como se ha demostrado en múltiples estudios, los elementos de ludificación pueden ser buenos motivadores para los alumnos y ayudar en su aprendizaje. Conociendo que alumnos se motivan más ante este tipo de técnicas de ludificación, es posible los profesores puedan aplicarlas posteriormente si se considera adecuado. Por ello en esta sección los parámetros tratan de dar una medida de cuáles son los usuarios más motivados por los elementos de juegos:

- **Interés en ganar medallas:** Se puede establecer una simple comparación de la cantidad media de medallas que gana un estudiante cualquiera, con respecto de las que ha ganado el estudiante, se puede saber si ha conseguido más medallas que la media o no.
- **Proporción de puntos por ludificación:** Los *energy points* en la plataforma se pueden ganar mediante la resolución de ejercicios, visionado de vídeos o realizando elementos de ludificación como ganar medallas o completar *goals*. Establecemos una medida comparativa para ver qué porcentaje de esos puntos corresponde a elementos de ludificación, comparado con aquellos conseguidos mediante ejercicios y videos. Esta medida nos sirve para comparar unos estudiantes con otros y ver cuales ganan un mayor porcentaje de puntos debido a elementos de ludificación.

E. Hábitos Resolviendo Ejercicios

El flujo de eventos con las marcas temporales que realiza un usuario cuando está resolviendo ejercicios es almacenado en gran detalle por el sistema de Khan Academy. Esto permite posteriormente reconstruir este flujo y analizar cuáles son los hábitos de determinado estudiante al resolver ejercicios. De esta forma, se pueden detectar comportamientos que se consideran erróneos en base a determinadas casuísticas, así como otros perfiles que permitan conocer más en profundidad al alumno para posteriormente realizar recomendaciones o intervenciones:

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

- **Seguidor de recomendaciones:** El sistema monitoriza cuando el estudiante ha entrado a ejercicios a través de una recomendación del sistema. Esto permite conocer en qué porcentaje de las veces que un usuario accede a resolver un ejercicio, éste lo ha hecho proviniendo de una recomendación del sistema.
- **Evitador de vídeos:** En caso de que el usuario haya respondido incorrectamente y no haya visto el vídeo asociado al ejercicio.
- **Evitador de pistas:** En caso de que el usuario responda incorrectamente y no haya pedido pistas, si el ejercicio tenía pistas disponibles
- **Usuario no reflexivo:** En caso de que el usuario haya respondido incorrectamente antes de que hayan pasado 10 segundos o que los posteriores intentos de resolución hayan estado separados entre ellos por menos de 10 segundos también, se considerará que el usuario no ha reflexionado en sus respuestas.
- **Abuso de pistas:** En caso de que entre al ejercicio y pida una pista antes de 10 segundos o que la diferencia temporal entre pistas pedidas sea de menos de 10 segundos, se considerará que está abusando de pistas porque no ha tenido tiempo de reflexionar sobre el enunciado del problema o sobre la pista dada anteriormente.

IV. Desarrollo del Módulo ALAS-KA de Analítica de Aprendizaje

A. *Funcionalidad Requerida*

La funcionalidad principal del sistema es poner a disposición de los usuarios visualizaciones que permitan recibir la información de alto nivel procesada por los parámetros propuestos. Es importante el uso de un diseño sencillo que permita la rápida interpretación de los resultados por cualquier usuario no técnico. El procesado de dichos datos tendrá que ser generado de forma periódica por la plataforma, para que las medidas se encuentren actualizadas cada vez que sean consultadas. Se plantea dos grupos de visualizaciones:

- Las primeras de forma individual centradas en cada usuario por separado y además con una comparación con el valor medio de la clase en dicha medida. Esto permite dar una idea de en qué punto se encuentra cada usuario y además compararlo con el resto de sus compañeros.
- Las segundas son visualizaciones globales de clase en forma de diagramas de tarta, esto permite ver en qué punto se encuentran la mayoría de los usuarios de una clase dando una visión global del conjunto.

Dentro del sistema va a haber dos tipos de usuarios, por una parte los profesores y por otra los alumnos. Por lo tanto también es necesario tener en cuenta esto a la hora de asignar privilegios para las visualizaciones. Los profesores tendrán acceso a las visualizaciones individuales de todos los usuarios así como a las visualizaciones de clase, mientras que los alumnos sólo podrán acceder a ver las visualizaciones individuales suyas para conocimiento propio y no podrán acceder a las de ningún otro alumno ni a las de clase. Además, el acceso a las visualizaciones estará restringido a sólo usuarios del sistema.

Otra de las funcionalidades que incluye el sistema, es una descripción verbal de cada usuario de forma individual para cada una de las medidas en forma de tabla. En dicha tabla se harán diferentes agrupamientos para cada una de las medidas y una descripción verbal informará de las características de cada usuario.

B. *Arquitectura de ALAS-KA*

En la figura 1 (adaptada de publicaciones previas [17], [18]) se muestra el diagrama del sistema integrado en el mismo servidor de Google App Engine con Khan Academy. Para una descripción más detallada de la arquitectura puede consultar referencias previas [17]. Ahora se van a comentar por separado cada uno de los elementos y cuál es su función, así como su interaccionan con otros elementos.

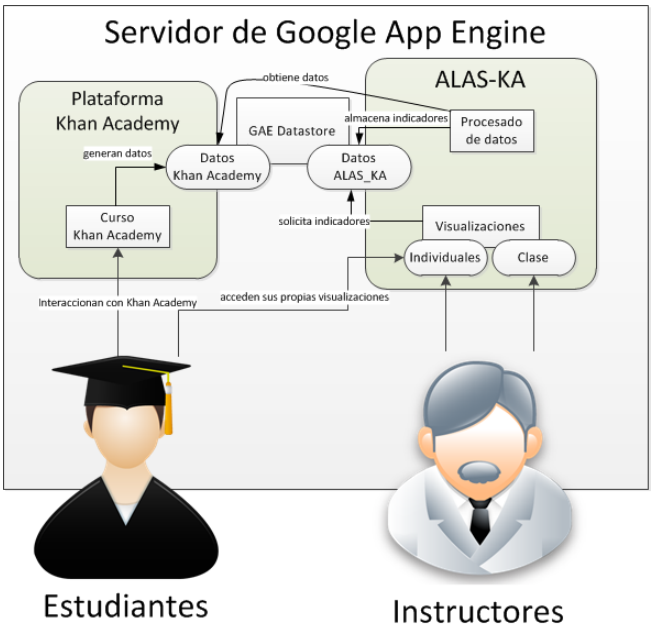


Figura 1. Arquitectura del Sistema ALAS-KA en el mismo servidor con Khan Academy.

1) *Estudiantes*

Los estudiantes son los que van a interaccionar con la plataforma Khan Academy y generarán las entidades de bajo nivel de Khan Academy que luego son necesarias para reconstruir el flujo que han seguido los usuarios y aplicar todos los procesamientos para generar los parámetros de alto nivel. Además los estudiantes también pueden acceder a la aplicación ALAS-KA y recibir realimentación con las visualizaciones de ellos mismos para poder reflexionar sobre su propio aprendizaje, pero no podrán acceder a las visualizaciones de la clase o a las de otros usuarios.

2) *Profesores*

El trabajo de los profesores es el diseño de los vídeos y ejercicios de los cursos de Khan Academy, pero además la monitorización del trabajo de los alumnos durante el curso. ALAS-KA proporciona las herramientas necesarias para supervisar la progresión y el trabajo de cada alumno por separado mediante visualizaciones individuales así como la clase en conjunto mediante visualizaciones globales. Los profesores pueden acceder a todas ellas. Pueden intervenir en caso de que se observe alumnos con problemas, hacer advertencias de forma temprana, detectar ejercicios o vídeos

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

con problemas y en realizar recomendaciones a los estudiantes de forma más sencilla.

3) App Engine Datastore

El App Engine Datastore proporciona el almacenamiento para Khan Academy. La mayoría de los eventos que generan los estudiantes durante su proceso de aprendizaje son almacenados. Ya que ALAS-KA se ha diseñado en forma de plug-in para funcionar de forma conjunta en el mismo servidor de Khan Academy, la forma más sencilla es usar también este sistema para la persistencia de datos. Se puede encontrar por una parte las entidades de Khan Academy, que son por ejemplo las generadas por la interacción de los usuarios. Por otra parte las entidades de ALAS-KA que son usadas tanto para guardar parámetros de configuración como para almacenar los resultados de los indicadores procesados.

4) Visualizaciones

La API Google Charts es la elegida para generar las visualizaciones debido a su simplicidad pero a la vez su potente entorno de trabajo. Un punto importante es que las gráficas están generadas usando HTML5/SVG por lo que proporciona compatibilidad entre navegadores y entre dispositivos. Google Charts genera los gráficos en el lado del cliente por lo que el servidor no tiene que realizar ningún procesado adicional. En el caso de esta aplicación, los datos necesarios para las visualizaciones son pedidos al Datastore, y sólo son necesarios estos datos sin ningún procesado adicional para generar las visualizaciones.

C. Diseño del Módulo de Procesado de Datos

Uno de los retos en analítica de aprendizaje así como en otros dominios dónde hay que hacer grandes extracciones y procesados de inmensas cantidades de datos, es la forma de hacerlo eficientemente y sin saturar el servidor.

Las consultas más pesadas son demasiado lentas como para ser ejecutadas en tiempo real ante la petición de un usuario. Este hecho hace que sea imposible realizar dicho procesado del indicador cada vez que una visualización sea solicitada. Para solucionar este problema se configura el sistema de App Engine Cron Service[1] para procesar los parámetros necesarios en intervalos de tiempo regulares. Una vez que el procesado ha terminado, se almacenan los resultados en la Datastore y pueden ser recuperados y visualizados rápidamente.

Se han creado cinco tareas *cron jobs* diferentes, uno para cada uno de los cinco grupos de medidas definidas en la sección III. El sistema lanzará cada cierto tiempo una petición HTTP GET a dicha URL para ejecutar el *cron job*. Dicho código generará una entidad *task* por cada alumno de la plataforma y éstas serán encoladas en su *queue* correspondiente. Una *task* está considerada como una unidad pequeña y discreta de trabajo en App Engine.

La Task Queue Python API[2] de App Engine, proporciona un poderoso sistema para ejecutar tareas en segundo plano. Se encarga de ejecutar las peticiones que no provienen del usuario. También se han generado cinco *queues* diferentes, una para cada uno de los *cron jobs*. Las *tasks* generadas por cada uno de los *cron jobs* serán encoladas en su *queue* correspondiente. Una vez añadidas las irá ejecutando en el mismo orden de llegada y cuando sea posible en pequeñas unidades de trabajo que no saturarán el servidor.

[1] https://cloud.google.com/appengine/docs/python/config/cron
[2] https://cloud.google.com/appengine/docs/python/taskqueue/

V. Evaluación del Proceso de Aprendizaje en Experiencias Educativas

La UC3M empezó a utilizar Khan Academy para preparar los cursos 0, que son los cursos pre-universitarios en los que se repasan los conocimientos que los alumnos deberían poseer antes de comenzar los cursos oficiales de Grado en ciencias tecnológicas. La idea es aplicar la metodología de "clase invertida" en la que el alumno prepara la lección en casa y sólo se resuelven dudas y plantean ejercicios durante las clases presenciales. Bajo este contexto se evaluaron experiencias educativas de los cursos 0 en dos años.

A. Primera experiencia – Agosto 2012

En esta experiencia 81 estudiantes usaron la plataforma en un curso de física, aunque no todos accedieron a la plataforma. Este acceso on-line fue una actividad no obligatoria. En esta primera experiencia se evaluó mediante la combinación de los parámetros descritos en la sección III mediante un análisis retrospectivo. Para ello se usaron visualizaciones y análisis estadístico para ver resultados a nivel general de cómo había sido la interacción de los estudiantes con la plataforma así como para buscar casos específicos de estudiantes con un comportamiento que denotara casos específicos que pueden suceder en plataformas de aprendizaje.

Por ejemplo en la figura 2 se muestra una visualización en la que se estima la tasa de abandono en ejercicios de los estudiantes, mediante la comparación de la cantidad de ejercicios accedidos (círculo verde) con la cantidad de ejercicios resueltos correctamente (círculo azul). De esta manera cuanto más larga es la línea que los conecta, mayor es la tasa de abandono en ejercicios del estudiante. Se puede observar algunos estudiantes que resuelven correctamente todos los ejercicios (aparece un solo círculo verde) y otros con grandes tasas de abandono.

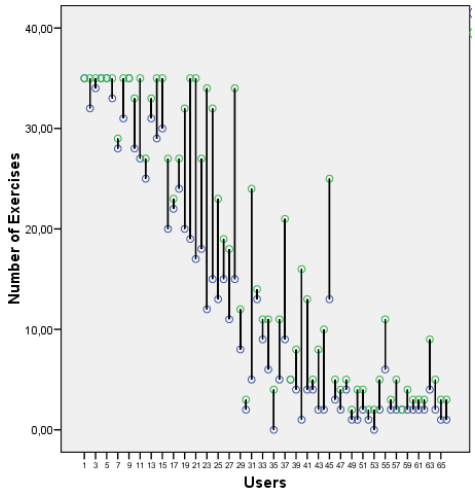


Figura 2. Estimación de la tasa de abandono por combinación de parámetros.

Otro ejemplo es la figura 3 en la que se representan los parámetros de hábitos resolviendo ejercicios de evitador de vídeos (azul), evitador de pistas (verde), usuario no reflexivo (beige) y abuso de pistas (morado), para los 19 estudiantes más activos de la experiencia. Se pueden

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

observar algunos estudiantes que tienen algunos de estos comportamientos negativos muy elevados, lo que permitiría al instructor realizar recomendaciones a estos estudiantes.

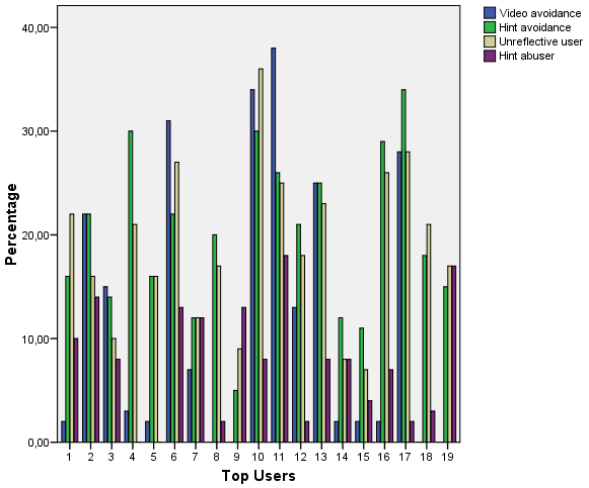


Figura 3. Parámetros de comportamiento resolviendo ejercicios de los 19 estudiantes más activos.

B. *Segunda Experiencia – Agosto 2013*

Después del éxito del primer año en la experiencia de los cursos 0 con Khan Academy, se repitió al año siguiente pero con mayor preparación y más cursos. En este caso, se prepararon cursos 0 de más temáticas para los cursos de física, química y matemáticas. En total el número de alumnos que interaccionaron con los cursos fueron de 167 en física, 73 en química y más de 243 en matemáticas. En esta experiencia se integró la plataforma ALAS-KA dentro de las instancias de Khan Academy de cada curso y se fue utilizando a tiempo real conforme la experiencia avanzaba. Esto implica que la herramienta de analítica de aprendizaje quedó en disposición de instructores y estudiantes para ser accedida en cualquier momento del proceso.

Se ponen dos ejemplos de visualización provenientes de ALAS-KA, en primer lugar de tipo individual en la figura 4 en la que se comparan dos estudiantes. Se puede observar los indicadores de hábitos de ludificación y elementos opcionales (primera barra) del Estudiante A y el Estudiante B, que aparecen comparados con la media de la clase (segunda barra). Ambos estudiantes emplearon una cantidad de tiempo similar en la plataforma, sin embargo como se puede ver el Estudiante A no estuvo interesado en las medallas ni en los elementos opcionales de la plataforma, mientras que el estudiante B estuvo muy interesado y se puede ver que sus parámetros son muy superiores a la media de la clase. Esta información se puede usar para adaptar el aprendizaje de cada estudiante en función de sus preferencias.

El segundo ejemplo que aparece en la figura 5 se trata de la visualización de clase para los indicadores de ejercicios y vídeos abandonados. Se puede observar como las tasas de abandono en ejercicios son mayores que en vídeos. Esto puede estar relacionado con el hecho de que resolver correctamente un ejercicio puede ser más complicado que simplemente terminar de ver un vídeo.

VI. Conclusiones

En este artículo hemos conectado diversos trabajos previos en analítica de aprendizaje para darles un marco común que ayude a entender el flujo entero que se ha

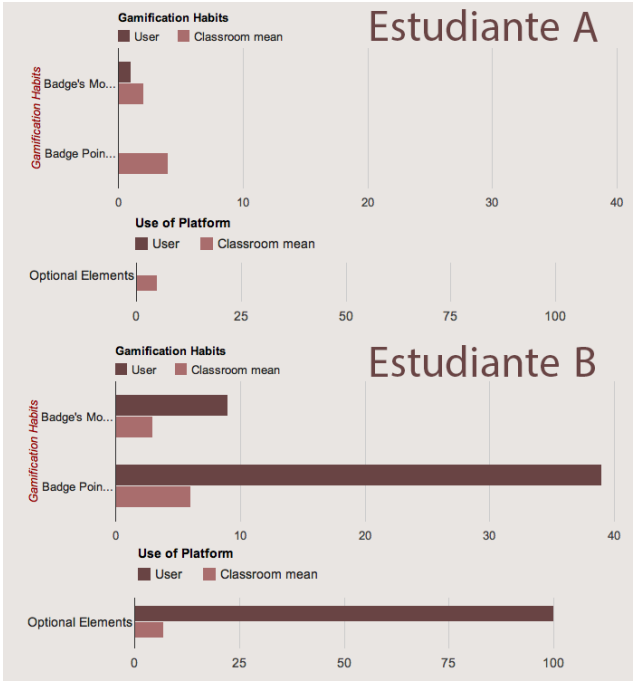


Figura 4. Comparación de los hábitos de ludificación y uso de elementos opcionales de dos estudiantes en ALAS-KA.

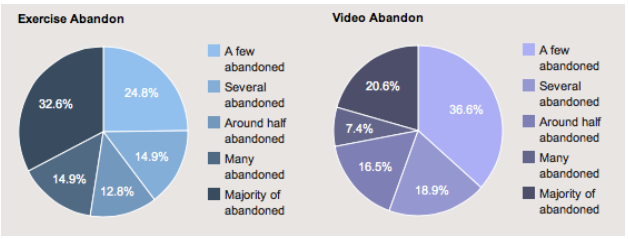


Figura 5. Porcentaje de ejercicios y vídeos abandonados de ALAS-KA.

seguido para su implementación y aplicación en un entorno usando Khan Academy. Se han explicado un conjunto de parámetros de alto nivel para la plataforma Khan Academy a partir del procesamiento de datos de bajo nivel en forma de eventos, se ha diseñado, se implementó el módulo ALAS-KA que extiende la capacidad de analítica de aprendizaje de la plataforma Khan Academy y añade nuevas visualizaciones tanto individuales como de todos los alumnos de la clase basadas en los parámetros anteriormente definidos y finalmente se ha mostrado algunos ejemplos de cómo utilizar esos parámetros y visualizaciones para evaluar el proceso de aprendizaje en experiencias reales.

El trabajo que se presenta aquí puede servir a otros investigadores en analítica de aprendizaje para hacer sus propias implementaciones y desarrollo desde cero. Durante el desarrollo del trabajo se han obtenido bastantes lecciones. Una bastante importante es que hay muchas opciones de realizar el procesado de los datos en función de cada métrica. Por otra parte, hay parámetros que pueden resultar de mucho interés, pero que no se pueden calcular por la propia semántica y funcionalidad de la plataforma.

Además, en bastantes casos la interpretación y acción a tomar en función de determinados resultados de parámetros no está clara. Por ejemplo, ¿qué hay que recomendarle a un alumno que abandona los vídeos? El que empiece a ver vídeos y no los complete puede ser porque ve el inicio del vídeo y como ya comprende las lecciones los descarta, o

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

porque el alumno está actuando mal en la plataforma sin completar los materiales. De momento, la decisión de recomendación y actuación se deja habitualmente al profesor para que evalúe el contexto específico para poder tomar este tipo de decisiones. Es un reto ofrecer una forma sistemática de interpretar los resultados para cada usuario, y normalmente es más efectiva una interpretación de forma individual para cada usuario en función de varios parámetros.

Otro elemento a tener en cuenta es que el procesado de datos aumenta exponencialmente conforme el curso va aumentando, ya que las cantidades de datos generadas por los usuarios son cada vez mayores. Por ello hay que tener en cuenta que esto puede provocar saturación en el servidor, o un aumento en la facturación si estamos usando algún servicio en la nube.

APÉNDICE A: CÓDIGO DE ALAS-KA, GUÍA DE INSTALACIÓN Y MANUAL DE USUARIO

Se ha realizado una página online para la aplicación desarrollada ALAS-KA, la cual se encuentra en una cuenta pública de GitHub[3]. Esta página contiene los siguientes contenidos:

- Código Python de ALAS-KA: Se incluye todo el código desarrollado para ALAS-KA, tanto la parte de analítica como la interfaz de visualizaciones. El código de ALAS-KA es independiente del de Khan Academy, y se debe seguir la guía de instalación para ponerlo en funcionamiento.
- Guía de instalación: Pasos a seguir para poner en funcionamiento una instancia de Khan Academy con ALAS-KA.
- Manual de usuario: Un tutorial de la funcionalidad y tipos de visualizaciones que contiene ALAS-KA, orientada tanto como para alumnos como para profesores, para que sepan que se puede hacer en la aplicación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido soportado por el proyecto “eMadrid” (Gobierno Regional de Madrid) con referencia S2013/ICE-2715 y el proyecto “RESET” (Ministerio de Economía y Competitividad) con referencia TIN2014-53199-C3-1-R.

REFERENCIAS

[1] IBM, “Informes de IBM sobre Big Data.” [Online]. Available: http://www-01.ibm.com/software/data/bigdata/.

[2] “1st International Conference on Learning Analytics and Knowledge 2011.” [Online]. Available: https://tekri.athabascau.ca/analytics/about.

[3] G. Siemens and P. Long, “Penetrating the Fog: Analytics in Learning and Education,” *Educ. Rev.*, 2011.

[4] J. P. Campbell, P. B. DeBlois, and D. G. Oblinger, “Academic Analytics: A New Tool for a New Era,” *Educ. Rev.*, no. August, pp. 40–57, 2007.

[5] D. Clow, “The learning analytics cycle: closing the loop effectively,” in *Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge*, 2012, pp. 134–138.

[6] V. Aleven, B. M. Mclaren, O. Roll, and K. Koedinger, “Toward Tutoring Help Seeking□ ; Applying Cognitive Modeling to Meta-Cognitive Skills,” in *Seventh International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS-2004)*, 2004, pp. 227–239.

[7] M. Feng, N. Heffernan, and K. Koedinger, “Predicting state test scores better with intelligent tutoring systems: developing metrics to measure assistance required,” in *Proceedings of 8th International Conference, Intelligent Tutoring Systems Jhongli, Taiwan*, 2006, pp. 31–40.

[8] H.-C. Schmitz, M. Scheffel, M. Friedrich, M. Jahn, K. Niemann, and M. Wolpers, “CAMera for PLE,” in *4th European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL*, 2009, pp. 507–520.

[9] R. Mazza and V. Dimitrova, “Visualising student tracking data to support instructors in web-based distance education,” in *Alternate track papers & posters of the 13th international conference on World Wide Web - WWW Alt. ’04*, 2004, pp. 154–161.

[10] H. Zhang, K. Almeroth, A. Knight, M. Bulger, and R. Mayer, “Moodog: Tracking students’ online learning activities,” in *World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications*, 2007, pp. 4415–4422.

[11] T. Tang and G. McCalla, “Smart Recommendation for an Evolving E-Learning System: Architecture and Experiment,” *Int. J. E-Learning*, vol. 4, no. 1, pp. 105–129, 2005.

[12] P. Dwivedi and K. K. Bharadwaj, “E-Learning recommender system for a group of learners based on the unified learner profile approach,” *Expert Syst.*, vol. 32, no. 2, pp. 264–276, 2015.

[13] P. J. Muñoz-Merino, J. A. Ruipérez Valiente, and C. D. Kloos, “Inferring higher level learning information from low level data for the Khan Academy platform,” in *Proceedings of the Third International Conference on Learning Analytics and Knowledge - LAK ’13*, 2013, pp. 112–116.

[14] J. A. Ruipérez-Valiente, P. J. Muñoz-Merino, D. Leony, and C. Delgado Kloos, “ALAS-KA: A learning analytics extension for better understanding the learning process in the Khan Academy platform,” *Comput. Human Behav.*, vol. 47, no. Learning Analytics, Educational Data Mining and data-driven Educational Decision Making, pp. 139–148, 2015.

[15] J. A. Ruipérez-Valiente, P. J. Muñoz-Merino, C. D. Kloos, K. Niemann, and M. Scheffel, *Do optional activities matter in virtual learning environments?*, vol. 8719 LNCS. 2014.

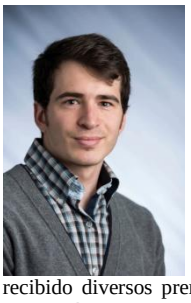
[16] P. J. Muñoz-Merino, J. A. Ruipérez-Valiente, C. Alario-Hoyos, M. Pérez-Sanagustín, and C. Delgado Kloos, “Precise Effectiveness Strategy for analyzing the effectiveness of students with educational resources and activities in MOOCs,” *Comput. Human Behav.*, vol. 47, pp. 108–118, 2015.

[17] J. A. Ruipérez-Valiente, P. J. Muñoz-Merino, and C. D. Kloos, “An architecture for extending the learning analytics support in the Khan Academy framework,” in *ACM International Conference Proceeding Series*, 2013, pp. 277–284.

[18] J. A. Ruipérez-Valiente, P. J. Muñoz-Merino, D. Leony, and C. Delgado Kloos, “ALAS-KA: A learning analytics extension for better understanding the learning process in the Khan Academy platform,” *Comput. Human Behav.*, vol. 47, pp. 139–148, 2015.

[3] https://github.com/jruiperezv/ALAS-KA

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués



José A. Ruipérez-Valiente complete su BSc y MSc en ingeniería de telecomunicación en la Universidad Católica de San Antonio y Universidad Carlos III de Madrid (UC3M) respectivamente. Ha trabajado tanto en el sector privado (Accenture y Grupo Multimedia Vocento) así como en el sector público (UC3M). Actualmente es estudiante de doctorado en la UC3M y asistente de investigación en el Instituto IMDEA Networks. También ha realizado una estancia de investigación de 3 meses en el MIT. Como estudiante e investigador ha recibido diversos premios que prueban sus capacidades de aprendizaje y resolución de problemas. También ha publicado en importantes revistas y conferencias internacionales relacionadas con sus áreas de investigación. Sus principales líneas en la actualidad son la analítica de aprendizaje y la minería de datos educacionales.

Pedro J. Muñoz-Merino recibió su título en Ingeniería de Telecomunicación en el año 2003 por la Universidad Politécnica de Valencia, y su Doctorado en Ingeniería Telemática en 2009 por la Universidad Carlos III de Madrid, dónde en la actualidad es Profesor Visitante. Ha realizado dos estancias largas de investigación: una en Irlanda en la compañía Intel por más de 3 meses en 2005 y otra en Alemania en 2009-10 por más de 6 meses en el Fraunhofer Institute of Technology. Obtuvo la acreditación de la ANECA como Profesor Titular en Mayo de 2012. Es autor de más de 70 publicaciones científicas y ha participado en más de 20 proyectos de investigación. Ha sido miembro del comité de programa en diferencias conferencias así como invitado a impartir charlas en diferentes eventos en temas de analítica de aprendizaje y minería de datos educacionales. Es Senior Member del IEEE desde 2015.

Carlos Delgado Kloos recibió su PhD en Ciencias de Computación por la Universidad Politécnica de Munich y su MSc en Ingeniería de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid. Desde 1996, es Catedrático del departamento en Ingeniería Telemática de la Universidad Carlos III de Madrid, donde también es director del "Máster en Gestión y Producción en e-Learning" online, director de la Cátedra UNESCO "Educación Digital Escalable para Todos" y del grupo de investigación GAST. También es Vicerrector de Estrategia y Educación Digital. Coordina la red eMadrid en tecnología educativa de la Comunidad de Madrid. Es Senior Member del IEEE. Sus principales intereses se encuentran en investigación en tecnologías educativas.

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Capítulo 11

Sistema de Integración de Laboratorios Remotos de Robótica (SiLaRR): Laboratorio Remoto de Robótica, Escalable, Versátil y Modular

Germán Carro Fernández, *Member, IEEE*, Manuel Castro Gil, *Fellow Member, IEEE y* Francisco Mur Perez, *Member, IEEE*

Title—Integration system of remote robotics laboratories (SiLaRR): remote laboratory of robotics, scalable, versatile and modular.

***Abstract*—In a technological society, as the current, training should use all the tools at its disposal to extend education beyond the physical classroom or the borders of laboratory. The philosophy of this project was to simplify the installation and put into operation of remote robotic laboratories. To do this, with SiLaRR, intrusion into the systems of the robotic equipment has been reduced to the maximum. Efficiency, reuse, flexibility and scalability have been the main features of this process expanding knowledge using remote laboratories of robotics on real-time from anywhere in the world with an Internet connection from smartphone or PC.**

Index Terms— remote laboratory of robotics, automation, Internet of things, robotic equipment

***Abstract*— En una sociedad tecnificada, la formación debe aprovechar todas las herramientas disponibles para extender la educación más allá del aula o de las fronteras de un laboratorio. La filosofía de este proyecto era simplificar la instalación y puesta en marcha de laboratorios remotos de robótica, para ello, con SiLaRR, la intrusión en los sistemas del equipo robotizado se redujo al máximo. Eficiencia, reutilización, versatilidad y escalabilidad fueron las líneas maestras de este proceso expandiendo los conocimientos sobre robótica usando laboratorios remotos en tiempo real desde cualquier parte del mundo con una conexión a internet, desde un Smartphone o un PC.**

Index Terms— laboratorio remoto de robótica, automatización, Internet de las cosas, equipo robotizado

Este trabajo fue presentado originalmente como Tesis Doctoral con el mismo título el 31 de junio de 2014 en la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la UNED en Madrid. Igualmente un resumen de la misma fue presentado con motivo de los premios CESEI en el WCSEIT 2015 (II World Congress on Systems Engineering and Information Technology) en Vigo del 15 al 18 de noviembre de 2015. Se puede acceder a la Tesis completa desde este enlace: http://ohm.ieec.uned.es/portal/?page_id=565

Germán Carro Fernández pertenece al Departamento de ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control Industrial (DIEEC) en la UNED, España (e-mail: gcarro@ieec.uned.es , gmncrf@gmail.com , germancf@ieee.org).

Manuel Castro Gil pertenece al Departamento de ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control Industrial (DIEEC) en la UNED, España (e-mail: mcastro@ieec.uned.es).

Francisco Mur Perez pertenece al Departamento de ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control Industrial (DIEEC) en la UNED, España (e-mail: fmur@ieec.uned.es).

I. Introducción

Las herramientas educativas destinadas a la práctica son fundamentales cuando hablamos de ingeniería, electrónica, física o química. Estas ciencias requieren en muchas ocasiones de confirmaciones reales de las teorías estudiadas. Para ello se desarrollan laboratorios que permitan, a los alumnos de estas disciplinas, comprobar en la realidad lo aprendido en la teoría, [1].

Cuando pasamos del nivel académico al nivel empresarial la formación adquiere si cabe una mayor importancia en lo que a términos de eficiencia o rentabilidad respecta. Un operario que no sea capaz de utilizar correctamente un equipo industrial puede suponer elevadas pérdidas para la empresa que lo contrata tanto por daños materiales como por retrasos en la producción, el valor de la información y el conocimiento en el mundo empresarial tiene un precio cierto, [2], pero cuando se habla de tecnología la eficiencia pasa a un primer plano, [3]. Si el ámbito de actuación es el de los servicios de seguridad y asistenciales (ejército, policía, bomberos, médicos) la experiencia previa adquiere una relevancia que roza la diferencia entre la vida y la muerte de uno o varios individuos, [4].

La práctica, por ello, es esencial. Tradicionalmente las prácticas se realizaban con los medios al alcance en cada momento, pero la tecnificación de la sociedad, Internet, los sistemas de comunicaciones y el desarrollo de la electrónica de bajo coste ha permitido generalizar la instalación de laboratorios que permiten acercar al estudiante a la realidad a la que deberá enfrentarse en cada caso. Si bien los laboratorios son variados, este trabajo se centrará en los laboratorios de robótica. Su uso es extensible a todos los ámbitos expuestos anteriormente, y la generalización de la robótica y la entrada de equipos robotizados en nuestras casas, con robots de limpieza como el iRobot de Roomba, [5], o con robots domésticos de compañía o terapéuticos como Paro, [6], hacen que, en la sociedad occidental

Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago, editores
TICAI 2015: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-711-1
©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

adoptemos como algo normal interaccionar con ellos, [7], incluso sin saberlo; como en el caso de las aplicaciones de Smartphone que sirven como asistente virtual, [8]. Es necesaria una buena comprensión de las tecnologías que nos rodean para utilizar estas de una manera productiva y eficiente, y no convertirnos en esclavos de sus servicios y ventajas. Un adecuado conocimiento de los equipos robotizados reducirá los conflictos sindicales, [9], ayudará a formar a los nuevos ingenieros, [10], y permitirá sacar el mayor partido a éstos en cada momento y situación en el que sean necesarios.

II. Laboratorios Remotos de Robótica: Situación Actual

A. Evolución Histórica

Los laboratorios de robótica presenciales forman parte del estudio y desarrollo de la citada disciplina. Sin necesidad de retroceder a los desarrollos previos de Leonardo Da Vinci con su caballero mecánico (Figura 1), ya en el siglo XX destacan, inicialmente a nivel industrial, el uso de laboratorios no solo para desarrollar los equipos robotizados sino para probarlos y aprender a controlarlos.

Figura 1. Caballero mecánico de Leonardo Da Vinci, reconstruido por Mark Rosheim en 2002. Museo de Leonardo en Florencia.

Se pueden citar, como muestra, atendiendo a los años correlativamente, [11]:

- ✓ El laboratorio ARGONNE que en 1950, desarrolla manipuladores *master-slave* para manipular material radioactivo.
- ✓ Los laboratorios de la Universidad de Stanford y del MIT que, en 1970, consiguen controlar un robot de manera remota mediante un ordenador.
- ✓ En 1976 la empresa Charles Stark Draper Labs prueba en sus laboratorios un dispositivo del tipo *Remote Center Compliance* (RCC), [12], para la inserción de piezas en una línea de montaje, [13].

Pero es a partir de 1980, cuando gracias al desarrollo y generalización del microprocesador unos años antes, desde 1971 con el Intel 4004, [14]; básico para reducir el tamaño de cualquier equipo robotizado; cuando se produce el impulso clave en la investigación, por parte de las empresas fabricantes de robots, empresas auxiliares y diversos departamentos de universidades de todo el mundo, sobre la informática aplicada y experimentación de los sensores, que, perfeccionándose cada vez más, potencian la configuración de los equipos robotizados capaces de adaptarse al entorno que los rodea y tomar decisiones en tiempo real, en cada situación.

B. La Simulación como Alternativa

No siempre es posible utilizar equipos robotizados reales. Bien sea por su coste o por su tamaño, o sencillamente porque el coste de horas de uso de los mismos es excesivo. En esos casos la simulación es una alternativa igualmente útil que además ofrece determinadas ventajas inherentes a su uso.

Gracias a los programas de simulación se puede diseñar un robot en un entorno virtual, programarlo con los detalles necesarios que, se piensa, van a ser útiles para la realización de su trabajo y finalmente comprobar si el funcionamiento será o no el esperado. La simulación ofrece la ventaja de que no supone un coste de fabricación, no hay que soldar o atornillar piezas, se pueden modificar texturas, piezas, engranajes con un solo clic de ratón, y todo ello tantas veces como sea necesario, [15].

La utilidad formativa de la simulación ha llevado a diseñar paquetes específicos, muy útiles para aumentar la cualificación universitaria de futuros ingenieros y acercarlos al mundo empresarial, [16]. Por otro lado los entornos industriales son centros de trabajo dónde conviven diferentes tipos de maquinaria en espacios de diferentes tamaños y con tráfico de vehículos o personas habitual. Utilizando software de simulación es posible comprobar el funcionamiento de equipos robotizados en un determinado entorno. Se puede conocer así cual debe ser la adecuada distancia de seguridad del operario ante el equipo, también la existencia de interferencias entre diferentes equipos robotizados o estos y otra maquinaria, así como la mejor opción a la hora de instalar el citado equipo.

El software de simulación industrial es muy útil y, si bien hoy en día convive con las prácticas reales, es necesario describirlo.

- ✓ **CIROS**, [17]: Es un programa de simulación industrial 3D desarrollado por la empresa FESTO, [18]. Según la descripción del producto, [19], sus características permiten emular todos los entornos de aprendizaje de mecatrónica, robótica y automatización industrial en una misma plataforma. Su interface de usuario está orientada a la manipulación de tareas y experimentación con proyectos, y permite la personalización del entorno. Cuenta con un asistente en línea y un sistema de renderizado 3D que facilita la visibilidad de los elementos de la pantalla.

  La empresa está especializada en entornos de aprendizaje de robótica y e-Learning. Uno de los aspectos más importantes de los laboratorios remotos de robótica es precisamente ese carácter de remoto, que los hace accesibles y útiles para aquellas personas que no pueden trasladarse físicamente al lugar de docencia.
- ✓ **ARENA**, [20]: Es un software desarrollado por la empresa Rockwell Automation, [21], y está diseñado para simular procesos industriales simples y complejos. Posee una oferta de formación para universidades y otra para empresas, muestra de la importancia ya citada que este tipo de cualificación tiene para los estudiantes de ingeniería. El software de simulación muestra, tanto en 2D como en 3D,

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

situaciones en entornos tan dispares como cadenas de montaje, centros de salud o instalaciones militares, o gestión de carga y descarga en puertos.

- ✓ **FlexSim**, [22]: También cubriendo un abanico de entornos tan amplio como en el caso anterior. Con una estrategia comercial más agresiva centrada en el ahorro de costes que supone la simulación, y en sus 20 años de experiencia; nació en 1993; abarca desde entornos industriales, logística y también centros de salud. Su enfoque se centra en acercar al máximo los entornos 3D a la realidad mediante la simulación, y para ello no duda en desplegar todas las herramientas de desarrollo necesarias para permitir al usuario personalizarlos al máximo. Dada la complejidad de uso del software de simulación, FlexSim se precia de desarrollar un software de gran sencillez que permite personalizar los modelos de simulación y optimizar así la capacidad de los procesos. Al igual que en los dos casos anteriores, eso no le exime de ofrecer cursos formativos y tener una sección educativa destinada a la simulación mediante el uso de software.

Los tres casos citados son un ejemplo del diferente software de simulación existente en el mercado. En este caso de pago, si bien suelen tener versiones de demostración o licencias académicas gratuitas o a precio reducido para mostrar parte de la potencia del producto. A pesar de estar todos ellos relacionados de manera directa o indirecta con la educación y formación, o con el entorno académico, es necesario destacar, dentro del software de simulación sobre robótica, y en especial sobre robots, a Webots, [23]. Desarrollado por la empresa suiza Cyberbotics y actualmente en su versión 7.4.2. Nacido como proyecto de software libre orientado a la simulación de equipos robotizados, cuenta actualmente con diferentes licencias, aparte de la gratuita, una educativa de uso económico y varias profesionales con un mayor coste y más versatilidad. La importancia de este software viene avalada por el número de veces que ha sido citado o utilizado en publicaciones del IEEE, [24], ACM, [25], Springer, [26], o MIT Press, [27], entre otros.

En esencia, replica, de la manera más realista posible el mayor número de robots y equipos robotizados existentes en el mercado, desde kits de robots comerciales de tipo educativo, como NAO de Aldebaran Robotics, [28], hasta brazos robotizados de empresas del sector industrial, como Kuka, [29], con una librería que se amplía cada vez más y que permite incluso utilizar la interfaz del programa para, una vez realizada la simulación, cargar el programa en el robot y ver en la realidad el funcionamiento del mismo, comparándolo así con lo visto en la simulación. Cuenta con entornos 3D de gran calidad (Figura 2) y personalizables que van desde el agua, arena, pasando por entornos fabriles con texturas modificables.

La simulación tiene un contenido formativo esencial, constituye un elemento facilitador a la hora de enfrentarse al control de un equipo robotizado y ofrece una seguridad que no es fácil conseguir con la manipulación del citado equipo en la vida real, [30].Si bien es importante completar dicha formación en un entorno real con un equipo robotizado real y con situaciones reales de manipulación.

Figura 2. Nivel de detalle en sombras y texturas de Webots con robots Nao.

C. *Hardware y Software,Ssistemas Utilizados*

Dentro de las posibilidades de uso real de equipos robotizados cabe destacar en el mercado dos productos que por su integración en la industria, su expansión en laboratorios para uso educativo en la ingeniería y su generalización a nivel internacional, son referentes: LabVIEW, de National Instruments, [31], y MatLab de MathWorks, [32].

- ➢ **MatLab**: Actualmente se ha convertido en una herramienta que va mucho más allá de aquello para lo que se diseñó inicialmente, cálculos con vectores y matrices. Su nivel de integración con hardware la ha convertido en una herramienta que actualmente se utiliza para análisis de sistemas y que, junto con los módulos adecuados, permite su presencia en diferentes ramas de la ingeniería. En lo que a laboratorios remotos concierne cuenta con Simulink Coder (también llamado Real Time Workshop), [33], que permite generar y replicar código en tiempo real para sistemas embebidos y que es utilizado habitualmente para desarrollar laboratorios virtuales y de manera especial laboratorios remotos de robótica por sus características para la adquisición de datos y el control. Junto con este módulo se pueden utilizar los servicios MatLab Builder NE, [34], para desarrollos en .NET, o MatLab Builder JA, [35], para desarrollos en Java, que constituyen lo que viene a ser el conjunto MatLab Web Application, [36]; antiguamente para ello existía el denominado MatLab Web Server, [37], que asumía las funciones indicadas. Ahora este producto está ya descatalogado y, si bien, sigue siendo compatible su uso mediante diferentes ajustes en el sistema, ya no es habitual utilizarlo para estos desarrollos. MatLab ha incorporado los módulos necesarios para interactuar con determinado tipo de hardware libre:

  - ✓ *Arduino*, [38]: Sólo para Arduino Uno, Arduino Mega 2560 y Arduino Duemilanove
  - ✓ *Raspberry Pi*, [39]: Sólo para Raspberry Pi Model B.
  - ✓ *BeagleBone*: En este caso la integración es bastante más restrictiva ya que el soporte real es para BeagleBoard, [40], y en concreto para Beagle Board xM. Eso ha

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

motivado que actualmente la compatibilidad sea puntual para estas placas, y no alcance oficialmente al hardware BeagleBone.

Asimismo MatLab ha integrado también la robótica educativa de Lego, con lo que actualmente tiene soporte para Lego Mindstorm, [41], en concreto para los modelos Lego Mindstorm NXT 1.0, NXT 2.0, o Education NXT Base Set, y, si hablamos de robots con precios superiores también da soporte para los robots NAO, [42], ofrecidos por Aldebaran Robotics [28].

- **LabVIEW**: Como en el caso de MatLab se ha ido convirtiendo en algo más que un mero software de adquisición de datos. Utilizando el mismo sistema modular ha ido evolucionando de manera paralela a MatLab y actualmente ofrece un gran número de algoritmos para aplicaciones de control, gran cantidad de hardware propietario para potenciar las posibilidades del software en lo que a recogida y procesado de datos se refiere, y una importante cantidad de *drivers* para diferentes dispositivos. De la misma forma que MatLab, LabVIEW cuenta con la posibilidad de desplegar servicios web; en este caso ya integrados en el software principal; lo que lo hace muy interesante como herramienta para implementar laboratorios remotos a nivel académico. LabVIEW ha realizado un importante esfuerzo por añadir, en los últimos años, soporte para hardware libre.

  - ✓ *Arduino*: El sistema de integración se lleva a cabo con la herramienta Arduino Toolkit, [43].
  - ✓ *Raspberry Pi*: Actualmente no tiene soporte en LabVIEW. La razón esgrimida para ello en los foros de National Instruments es pragmática: dado que LabVIEW tiene una versión para Linux, así como por la inexistencia de pines analógicos en la Raspberry Pi, no se considera adecuado proporcionar una compatibilidad exclusiva para Raspberry Pi, [44].
  - ✓ *BeagleBone*: Tampoco existe soporte directo de LabVIEW para esta placa. Si bien se ofrece soporte para microcontroladores ARM de Texas Instruments, con lo que de manera indirecta si se puede trabajar con BeagleBone en LabVIEW.

Respecto a la integración de equipos robotizados, actualmente LabVIEW da soporte a Lego Mindstorm, [45]. Con esta integración se pueden adquirir y enviar datos a estos equipos robotizados, previo pago de la pertinente licencia. Si bien LabVIEW no posee soporte para otro tipo de robots educativos, como en el caso de MatLab, si cuenta con su propio kit de prototipos de robótica, [46], y con una plataforma específica para iRobot, [47].

D. Ventajas e Inconvenientes

El uso de las herramientas descritas se ha demostrado útil a la hora de desarrollar laboratorios de hardware en general y determinados laboratorios remotos en particular. A continuación se analizan algunas de las ventajas que suponen.

Ventajas:

- ✓ Existencia de tutoriales y documentación que desarrollan las distintas posibilidades de uso.
- ✓ Soporte actualizado de cada una de las plataformas.
- ✓ Demostraciones de integración con el hardware descrito y soportado en cada caso.
- ✓ Atención al cliente y propuestas de soluciones o hardware alternativo para cada caso particular.
- ✓ Herramientas hardware generalista para facilitar la integración, toma y envío de datos con diferentes características.
- ✓ Sistema de paquetes para instrumentos y hardware concreto.
- ✓ Servicio de asistencia y teléfono/email/chat de atención al usuario.
- ✓ Son sistemas propietarios y como tal tienen una garantía en el mercado avalada por su experiencia a lo largo de los años.

Al mismo tiempo estas plataformas poseen determinadas características que reducen su posibilidad de uso en entornos generalistas de bajo coste.

Inconvenientes:

- ✓ Como se ha comentado previamente, son plataformas de pago. Si bien en algún caso se pueden utilizar en modo prueba durante un período determinado de tiempo, al final es necesario pagar una licencia por su uso. En ambas plataformas existen versiones destinadas a uso educativo, pero o bien estas son también de pago, o bien están limitadas para el uso de determinados paquetes de integración, o bien derivan a un distribuidor local para comprarlas directamente. Incluso en el caso de prototipos de robótica educativa del tipo Lego Mindstorm, el coste es un elemento a tener en cuenta por bajas que sean sus prestaciones, [48], por supuesto el coste del software de LabVIEW es aparte.
- ✓ Los tutoriales y materiales, así como los seminarios por Internet que imparten, habitualmente de manera gratuita, ambas plataformas, son extensos y completos, pero es habitual ver descritos en ellos hardware comercializado por las propias empresas que los imparten. Dicho hardware suele tener un coste más elevado que el hardware libre que utiliza SiLaRR.
- ✓ Tras asistir a seminarios de ambas plataformas, son habituales las preguntas relacionadas con otro tipo de hardware de toma de datos que no es comercializado por las empresas que distribuyen las citadas plataformas. No se ofrece soporte de integración con ningún hardware que no sea el propio de las plataformas. Ese enfoque limita mucho las capacidades de ajuste presupuestario del

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

usuario de cara a desarrollar laboratorios remotos personalizados.

- ✓ Si bien, como se ha indicado, las opciones de integración con hardware libre se han incrementado conforme dicho hardware libre se ha ido haciendo más popular. Aunque en los casos ya citados las posibilidades de integración se reducen a determinados modelos de dicho hardware, o bien todavía no están desarrollados los paquetes o módulos de integración, o no se piensan desarrollar.
- ✓ A pesar de los seminarios gratuitos, y la documentación y manuales disponibles, la curva de aprendizaje de ambas plataformas se hace bastante larga. El excesivo tiempo necesario para conocer y aprovechar ambas plataformas de una manera mínimamente productiva puede llegar a desanimar a algunos usuarios.
- ✓ Si hablamos de integrar otro tipo de hardware como cámaras, audio, etc., la complejidad de las citadas plataformas pueden incrementarse en gran medida. Lo habitual, como se ha indicado previamente, es que requieran servicios web independientes o dedicados, expresamente configurados para ello.

La orientación industrial de ambas plataformas las convierte en instrumentos adecuados para entornos en los que se presuponen unos conocimientos previos concretos y una disponibilidad de hardware que viene dada por esa orientación industrial. Si bien ambas se utilizan habitualmente en entornos académicos universitarios, se aprecia una cierta necesidad de trasladar la posibilidad de integrar laboratorios de una manera más rápida, más económica y sin un periodo de formación tan elevado.

III. SiLaRR: Laboratorio Remoto de Robótica Escalable, Versátil y Modular

La llamada nueva revolución industrial, [49], ha motivado un cambio en la concepción de la robótica y su uso no solo en entornos industriales sino en la propia sociedad, [50], [51]. Como se ha indicado en capítulos previos, dicho cambio ha pasado por una progresiva generalización y aceptación de los robots en la vida diaria y en entornos tan diferentes como la industria, el ocio, la universidad, las escuelas, la atención a ancianos y discapacitados, la medicina o la seguridad, [52]. Dado que los robots se han generalizado de cara al usuario, los sistemas que se utilizan para controlarlos y para formarse con ellos deben seguir esa misma línea. Para ello, y siguiendo el esquema establecido por SICTER, [53], se pueden destacar tres factores básicos con los que, al menos, debería contar cualquier sistema:

- ✓ Modularidad: Constituye la base del aprovechamiento máximo de un sistema básico. Inicialmente el sistema cuenta con una estructura genérica que proporciona lo necesario para implementar un laboratorio y desplegar este en Internet, pero debe ser lo suficientemente flexible como para incorporar nuevos desarrollos que den respuesta a soluciones concretas y que puedan incorporarse o ser utilizados por el sistema básico.
- ✓ Escalabilidad: Entendiendo como parte de la misma la adaptabilidad. No todos los laboratorios tienen las mismas necesidades. Como en el caso anterior el sistema básico nace con unas características lo suficientemente amplias, pero es evidente que en base a las necesidades del laboratorio y del usuario necesitará escalarse para constituir una integración óptima.
- ✓ Economicidad: Todo ello sin perder de vista el objetivo de ahorro de costes. La tecnología posee una característica de mutabilidad que superada la Ley de Moore, [54], cada vez abarca más campos de la vida diaria. La robótica es uno de ellos, y el sistema debe poder integrar nuevos laboratorios manteniendo y mejorando su eficiencia inicial aprovechándose de los desarrollos tecnológicos para conseguir los costes más equilibrados posibles.

El objetivo de eficiencia final deberá compararse con la generalización de uso y la capacidad de integración. Factores todos ellos que deberán pasar por el nivel de satisfacción y sencillez mostrado, tanto para los usuarios que administren el sistema, como para los clientes finales que lo utilicen para objetivos formativos o de divulgación. El desarrollo de SiLaRR se ha orientado a permitir y facilitar la instalación e integración de laboratorios remotos de robótica y facilitar la evolución de los mismos de una manera sencilla y práctica.

Desde un punto de vista general los estudios muestran una tendencia hacia el uso de los laboratorios remotos como alternativa o complemento a los laboratorios tradicionales, [55], y como un modelo más adecuado que el de la mera simulación, [56], no obstante el enfoque inicial de esta tesis doctoral se ha centrado en el uso de equipos robotizados en laboratorios remotos. Cuando SiLaRR estaba ya casi completamente configurado se procedió a probar la integración de equipamiento hardware distinto del de los equipos robotizados y se descubrió que seguían unas características de integración similares que han permitido generalizar el sistema y su estructura (Figura 3). Esta generalización permitiría utilizar SiLaRR, con los módulos pertinentes, para utilizar laboratorios remotos con otras características (FPGAs, microcontroladores, etcétera).

- ✓ **Lado del servidor:** El laboratorio remoto debe estar conectado de alguna manera a un servidor en el que se gestiona su instalación y su funcionamiento *in situ*. El servidor aloja la estructura que permitirá desplegar al laboratorio y facilitará que los usuarios interaccionen con él, ya sea mediante su configuración o actualización, la gestión de accesos o el simple uso del mismo. El servidor debe conformar un entorno estable pero al mismo tiempo debe estar dotado de la flexibilidad suficiente que permita realizar los cambios y ajustes necesarios para que el acceso a los laboratorios pueda ir evolucionando en el tiempo conforme se mejora o sustituye la tecnología que lo sustenta.
- ✓ **API de gestión inteligente (AGI):** Esta herramienta es el núcleo del sistema. La citada API permitirá distinguir de manera independiente el

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

tipo de conexión que se realiza con el laboratorio en cuestión. Su principal característica será la sencillez para el usuario administrador ya que éste simplemente deberá instalar el software desarrollado a tal efecto como si de cualquier otra aplicación se tratara, e ir aceptando o rechazando las sugerencias mostradas para ir ajustando las características de su laboratorio a las capacidades del sistema. Esta herramienta constituye una parte fundamental de SiLaRR ya que permitirá extender las posibilidades de integración de laboratorios en este sistema utilizando un hardware y una librería de software conservando dicho proceso transparente para el usuario. Dicha característica facilitará la inclusión de nuevos módulos y hardware en SiLaRR sin afectar a los módulos ya existentes, promoviendo así la flexibilidad, escalabilidad y versatilidad del sistema.

- ✓ **Webservice:** Actualmente existen varias posibilidades respecto a la integración en web de laboratorios remotos. En este contexto no solo existen desarrollos conducentes a facilitar el uso de interfaces capaces de conectar laboratorios remotos a plataformas educativas, [57], aprovechando así las opciones del software libre, sino propuestas de carácter económico, orientadas a la comercialización de *marketplaces* de laboratorios, [58]. Otras plataformas permiten el uso de laboratorios idénticos, o muy similares, de manera coordinada, facilitando así una mayor disponibilidad de los mismos de cara al usuario final, [59], o bien ofreciendo laboratorios diferentes dentro de un mismo entorno, [60]. Una herramienta de este tipo puede llegar a distribuir u ofrecer laboratorios remotos a nivel local, nacional o internacional, [61], en función de la necesidad de cobertura del proyecto y de las instituciones, empresas, u organismos, implicados en el mismo. De la misma forma esta estructura puede proporcionar otro tipo de herramientas que pueden resultar útiles para los docentes y para los alumnos, no solo en lo referente a la recopilación de datos de uso para tareas de *learning analytics*, [62], como herramienta de análisis integrada en los propios laboratorios, [63], sino directamente vinculada al propio hardware, [64], o como herramienta centrada en los propios alumnos, [65].

  SiLaRR implementa esta herramienta de una manera práctica y permite, en caso necesario, personalizar o diseñar un *webservic*e adecuado en base a la institución, centro educativo, empresa u organismo que lo quiera integrar. Su función es poner en contacto a través de Internet el lado del servidor con el lado del cliente. A través de él se gestionan las colas de acceso, los accesos a laboratorios compartidos o múltiples, lo que en SiLaRR se ha denominado laboratorios en anillo, o la gestión de recogida de datos de usuarios para tareas de informes o alertas. La flexibilidad de SiLaRR permitiría personalizar estas herramientas de información y convertirlas en herramientas de análisis, o incluso integrar módulos dedicados a esta tarea en exclusiva, ofreciendo así también opciones extendidas de *learning analytics*.

- ✓ **Lado del cliente:** Al igual que en este caso el usuario final solo necesitará instalar un software estándar, como es el que conforma los navegadores convencionales, para acceder a la interfaz que le dará paso a los laboratorios remotos. Si por motivos de personalización del sistema el *webservice* es propio, o tiene unas características muy concretas o específicas, se podría desarrollar un módulo específico en SiLaRR para utilizar un acceso a Internet directamente a dicho *webservice* y allí desplegar la interfaz de uso para el cliente sin que este tenga que instalar ningún software complementario en su equipo. En condiciones normales y funcionando de manera genérica el usuario cliente final; que en SiLaRR estaría formado por los alumnos y sus tutores, y en caso puntuales por los administradores del sistema; puede acceder al sistema con un navegador convencional que soporte HTML5. Se recomienda utilizar Chrome por los buenos resultados que ha proporcionado a lo largo de las pruebas realizadas, pero Mozilla Firefox o Internet Explorer pueden ser también utilizados para acceder; en función del tipo de configuración del laboratorio; a la mayor parte de las opciones disponibles en el sistema.
- ✓ **Terminales de acceso:** En combinación con el apartado anterior y como conclusión motivada por la capacidad de acceso generalizada al sistema que proporciona SiLaRR, el usuario final podrá acceder al sistema utilizando los medios tecnológicos actualmente disponibles para ello: ordenadores de sobremesa, ordenadores portátiles, tabletas, *smartphones*, etc., que funcionen tanto bajo sistemas operativos Windows, Linux, Android, iOS o Mac OS X. Permitiendo así que SiLaRR forme parte de, o sea aprovechado como herramienta educativa por, las nuevas tecnologías móviles que han surgido al amparo de los nuevos dispositivos, [66], [67].

El núcleo del sistema, y la dificultad del mismo, radica en simplificar la conexión de los diferentes tipos de laboratorios que pueden ser utilizados. Para ello la idea ha sido diseñar e implementar unos *drivers* genéricos que sean capaces de reconocer, e instalar o habilitar mediante un sistema similar al "Plug and Play" los diferentes protocolos y puertos de comunicación conocidos más comunes, para permitir el acceso al hardware del laboratorio desde Internet.

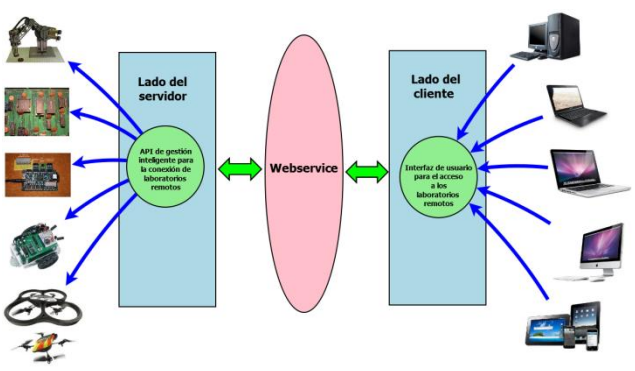


Figura 3. Estructura del sistema SiLaRR.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Dada la disparidad de hardware de los diferentes equipos robotizados existentes no en todos los casos será posible implementar un sistema de conexión adecuado, pero al menos se han cubierto los protocolos y puertos de comunicación más habituales. Una vez conseguido esto, el siguiente paso fue implementar un software fácil de usar por personas sin experiencia avanzada en informática. Ahí es dónde radica la importancia y la utilidad del desarrollo de un software fácil de instalar. Desde este planteamiento el usuario solo tendría que centrarse en desarrollar su laboratorio con la confianza de que, utilizando el hardware propuesto por el sistema SiLaRR, y su software de instalación y configuración, será capaz de desplegarlo en Internet de una manera más sencilla y rápida que con otros sistemas existentes en el mercado como LabVIEW, [68], [69], o MatLab, [70], [71].

Los pasos anteriores permiten integrar, crear y desplegar en Internet un laboratorio utilizando SiLaRR como sistema de integración, y mantienen inalterable la opción de realizar cambios en el software del mismo (tanto en el hardware como en la web) de una manera intuitiva y visual. Es necesario hacerlo así porque un laboratorio remoto, por lo general, sufre modificaciones en sus características y servicios a lo largo de su vida útil. Los respectivos procesos de instalación, configuración y despliegue ya vistos, que desembocan en la puesta a disposición final de del sistema aparecen reflejados en la Figura 4. Una vez terminados todos los pasos, el laboratorio remoto de robótica estará listo para usarse. El código fuente existente en el Arduino permitirá trasladar al equipo robotizado las órdenes pertinentes desde las funciones implementadas en la página web con la que interacciona el usuario final. Estos datos procedentes de la web se envían vía puerto serie, Ethernet o Wi-Fi, al Arduino que una vez los recibe los procesa y activa, o desactiva, los pines respectivos de la placa para indicar al robot que es lo que debe hacer. De esta manera y gracias a SiLaRR el usuario controla remotamente el comportamiento del equipo robotizado en tiempo real.

Figura 4. Instalación, configuración y despliegue del sistema.

IV. Conclusiones y Aportaciones de este Trabajo

El objetivo inicial de facilitar la generalización de laboratorios remotos de robótica mediante el desarrollo de un sistema de integración de bajo coste, y la implementación de una herramienta sencilla capaz de cubrir las áreas básicas necesarias para proceder a esa integración, se ha cumplido de una manera óptima. Los resultados reales obtenidos durante las prácticas llevadas a cabo en los diferentes proyectos citados y en las pruebas de campo en colegios o centros educativos, así lo corroboran. Este es un logro importante porque permitirá, a partir de ahora, que todo aquel que desee desplegar un laboratorio de robótica, lo tenga un poco más fácil con SiLaRR, lo que a su vez permitirá generalizar el número de laboratorios reales existentes disponibles en Internet. Al mismo tiempo SiLaRR es una herramienta escalable, versátil y modular gracias al:

- Desarrollo de una API de Gestión Inteligente (AGI):
  La propuesta de utilizar un único dispositivo de gestión inteligente en paralelo a un software de integración, dio lugar a la elección de Arduino como plataforma de hardware libre a utilizar. Con la AGI se estandarizaba el sistema de conexión y comunicación con el sistema y el problema desde el lado del hardware se redujo a evaluar la posibilidad de integración del equipo robotizado con Arduino. Dadas las múltiples opciones posibles (tanto en digital como en analógico) facilitadas por Arduino, y debido a que la propia AGI ofrece sistemas de comunicación variados (serie, Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth) se ha conseguido integrar de manera óptima hardware y software facilitando así la comunicación entre el servidor y el equipo robotizado y actuando dicha AGI como un único dispositivo inteligente capaz de hacer de puente con solo utilizar sus pines disponibles. La selección de Arduino no se hizo de manera aleatoria, solo hay que ver las diferentes opciones existentes en este hardware libre para darse cuenta de que existe un Arduino casi para cada propósito. Ello facilitará el uso de los diferentes módulos basados en los diferentes tipos de placas de Arduino para aumentar aún más las capacidades de integración de SiLaRR con equipos robotizados o laboratorios generalistas.
- Integración en un único sistema de gestión:
  Dadas las características del sistema era necesario desarrollar un sistema de gestión común que fuera capaz en cada momento de actualizar los datos del laboratorio tanto a nivel de hardware como de software. Se ha optimizado el uso de las herramientas web descritas a través de una base de datos configurada para permitir las actividades de gestión de base de datos, gestión de colas, software y servicios web desde, y hacia, el equipo robotizado del laboratorio gestionado por SiLaRR. Reduciendo así a la mínima expresión la necesidad de codificación de cara a la implementación de la funcionalidad de los laboratorios. La unificación en un mismo sistema de todas las herramientas necesarias para el lado del servidor, conectadas en tiempo real con las necesidades de cada laboratorio integrado, constituye una gran ayuda para el usuario administrador ya que reduce y simplifica sus operaciones de modificación, acceso y

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

eliminación o desactivación de dichos laboratorios.

- El despliegue de ambas tecnologías desde un único sistema de instalación y configuración:
  Otra de las bazas de SiLaRR es el desarrollo de un sistema de instalación interactivo y amigable que interacciona con el usuario final desde el primer momento actuando como una caja negra frente a la que el usuario solo necesita saber qué tipo de laboratorio quiere instalar y cómo funciona su laboratorio, olvidándose de los ajustes manuales que otros sistemas necesitan.

  Desde un proceso que originalmente sería complicado y que supone conocimientos de uso de servidores y sistemas de autorización en bases de datos, el usuario se encuentra con una interfaz que le anima a introducir los datos deseados por pantalla, verificarlos y pulsar un botón para avanzar en el proceso de instalación.

  Se ofrecen todas las herramientas de software necesarias para interactuar con SiLaRR y se aconseja en todo momento que opciones tomar por si el usuario tiene alguna duda al respecto. Se permite instalar o no las opciones disponibles permitiendo, si el usuario lo desea, personalizar su propio sistema SiLaRR con sus propias herramientas existentes; siempre que cumplan con las características ya indicadas a lo largo de esta tesis doctoral. Se simplifica el proceso de configuración a través de un único itinerario con opciones de validación que, en caso necesario, bloquean el avance en la configuración si el usuario no ha realizado los pasos que se esperan por parte de SiLaRR para que la configuración llegue a buen término. Incluyendo un sistema de gestión de errores, advertencias o avisos que informan al usuario de lo que está ocurriendo en cada momento.

  Pero SiLaRR ofrece algo más, la posibilidad de realizar los cambios necesarios una vez ya se haya configurado el laboratorio, la asignación de usuarios de diferentes tipos, laboratorios, reservas, todo ello desde la propia suite de configuración en el PC del administrador o bien desde internet utilizando la interfaz web desarrollada a tal efecto y a la que se puede acceder utilizando también terminales móviles o tabletas. Este mecanismo de unificación, exportable ahora a otro tipo de desarrollos, hace de SiLaRR una herramienta práctica y fácil de usar, accesible desde cualquier parte del mundo y desde cualquier terminal, con solo una conexión a Internet.
- Desarrollar un mecanismo "Plug and Play" que permite reutilizar el equipo robotizado:
  El sistema de integración de SiLaRR es no intrusivo con el equipo robotizado. La estrategia de utilizar hardware como Arduino como núcleo de la AGI permite utilizar el equipo robotizado solo con conectar el cableado pertinente en los pines de Arduino que se desean emplear. Ese sistema permite utilizar el equipo robotizado para el laboratorio y, una vez terminada su función, reutilizar el mismo equipo para otras labores, ya sean de prácticas reales presenciales o la realización de las labores habituales de uso con solo desenchufar el equipo del Arduino y volver a enchufar las conexiones en el equipo habitual. En el caso de equipos con cableado fijo esta opción representa la posibilidad de puentear dicho cableado con extensiones temporales que hagan de pasarela hasta el Arduino y que posteriormente se pueden desconectar para que el laboratorio recobre su independencia frente al sistema.

  La reutilización forma parte del ahorro de costes y del incremento de la eficiencia y permite situar a SiLaRR dentro de los sistemas no intrusivos. Dicha característica ha obligado a incrementar la complejidad del sistema y ha complicado el diseño del mecanismo de gestión, pero gracias a ello el usuario puede utilizar su equipo robotizado con SiLaRR sin tener que renunciar a su uso habitual en caso necesario. Todo ello sin afectar a la estructura o al hardware propio del equipo robotizado.

Con SiLaRR se abre un nuevo abanico de oportunidades para aquellos centros educativos, instituciones o empresas, que desean utilizar laboratorios remotos pero que por razones presupuestarias, de escasez de personal especializado o falta de tiempo, hasta ahora no podían hacerlo. Desde este momento existe una nueva opción escalable, versátil y modular que se ha demostrado útil y flexible en las diferentes pruebas llevadas a cabo y en los diferentes proyectos en que ha sido utilizada.

La **escalabilidad** permite a SiLaRR adaptarse a diferentes entornos formativos o educativos con diferentes tipos de equipos robotizados y diferente nivel de complejidad o necesidades.

La **versatilidad** permite que SiLaRR se muestre como un sistema adecuado para uso en colegios, por usuarios que tienen como hobby la robótica o por universidades o empresas que necesitan la formación como parte inherente a su filosofía de trabajo diario para cubrir las necesidades de cualificación de sus alumnos o de su personal.

La **modularidad** es la clave que permitirá a SiLaRR seguir potenciando sus cualidades a través de la implementación de nuevos módulos personalizados para equipos robotizados propios o comerciales, nuevos tipos de hardware para la AGI y nuevos sistemas de comunicaciones que permitan cubrir un mayor abanico de posibilidades de uso.

SiLaRR se diseñó para ser un sistema vivo y en constante mejora y cambio, para universalizar su uso y para que cualquiera que lo desee ofrezca nuevos laboratorios remotos a través de Internet, porque la divulgación de la ciencia y la tecnología necesita de la práctica para reforzar la formación y la educación en ingeniería y tecnología, y esa práctica debe estar al alcance del mayor número de personas posible a nivel mundial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la Escuela de Ingenieros Industriales de la UNED y en concreto al Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Control Industrial (DIEEC) su colaboración y apoyo durante el desarrollo de este trabajo. Así como a los proyectos: "Techno-Museum:

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Discovering the ICTs for Humanity" (IEEE Foundation Grant #2011-118LMF), "e-Madrid: Technology-Enhanced Learning" (S2009/TIC-1650), "e-Madrid: Research and development of learning technologies" (S2013/ICE-2715) y "Go-Lab: Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School" (FP7-ICT-2011-8 – Project number 317601).

REFERENCIAS

[1] P. Cobb, J. Confrey, A. diSessa, R. Lehrer y L. Schauble, "Design Experiments in Educational Research", Educational Researcher, vol. 32, pp. 9-13, 1 de enero de 2003.

[2] M. Chick, Information Value and Cost Measures for use as Management Tools. Washington; Washington: Special libraries assoc., 1990.

[3] W. T. Lin, "The business value of information technology as measured by technical efficiency: Evidence from country-level data", Decision Support Systems, vol. 46, num. 4, marzo 2009, pp. 865-874, ISSN 0167-9236.

[4] H. L. Jones, S. Rock, Lt. D. Burns, y Dr. S. Morris, "Autonomous Robots in SWAT Applications: Research, Design, and Operations Challenges", [en línea]. Disponible en http://www.spyplanes.com/pdf/SWATapps.pdf. Accesible el 15 de abril de 2014.

[5] iRobot, de la empresa Roomba, página web oficial [en línea]. Disponible en http://www.irobot.com/. Accesible el 15 de abril de 2014.

[6] Paro, de la empresa AIST, página web del robot [en línea]. Disponible en http://www.parorobots.com/. Accesible el 15 de abril de 2014.

[7] J. Forlizzi, "How Robotic Products Become Social Products: An Ethnographic Study of Robotic Products in the Home", [en línea]. Disponible en http://goodgestreet.com/docs/forlizziRoomba.pdf. Accesible el 15 de abril de 2014.

[8] Siri, de la empresa Apple, página web oficial [en línea]. Disponible en http://www.apple.com/es/ios/siri/. Accesible el 15 de abril de 2014.

[9] G. Carro Fernandez, S. M. Gutierrez, E. S. Ruiz, M. C. Gil, y F. M. Perez, "Formation in robotics, the key to integration in industrial environments", Interactive Collaborative Learning (ICL), 2012 15th International Conference on , vol., pp.1,4, 26-28 de septiembre de 2012.

[10] G. C. Fernandez, M. C. Gil, y F. M. Perez, "Remote robotic laboratory as nexus between students and real engineering", Interactive Collaborative Learning (ICL), 2012 15th International Conference on, vol., no., pp.1,4, 26-28 de septiembre de 2012.

[11] V. R. Gonzalez, Origen y desarrollo de la robótica, Ministerio de Educación y Ciencia [en línea]. Disponible en http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/historia.htm. Accesible el 15 de abril de 2014.

[12] P. C. Watson, Remote center compliance system. Patente asignada a The Charles Stark Draper Laboratory, Inc. (Cambridge, MA). Registro de patentes de los Estados Unidos, número de solicitud: 05/732,286; 13 de octubre de 1976 [en línea]. Disponible en http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect2=PTO1&Sect2=HITOFF&p=1&u=/netahtml/PTO/search-bool.html&r=1&f=G&l=50&d=PALL&RefSrch=yes&Query=PN/4098001. Accesible el 15 de abril de 2014.

[13] J. L. Molina Marticorena, Historia de la robótica, www.ProfesorMolina.com.ar [en línea]. Disponible en http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/robotica/historia.htm. Accesible el 15 de abril de 2014.

[14] F. Faggin, The Intel 4004 Microprocessor and the Silicon Gate Technology [en línea]. Disponible en http://www.intel4004.com/. Accesible el 15 de abril de 2014.R. W. Lucky, "Automatic equalization for digital communication," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 44, no. 4, pp. 547–588, Apr. 1965.

[15] N. King, M. Bechthold, A. Kane y P. Michalatos, "Robotic tile placement: Tools, techniques and feasibility", Automation in Construction, vol. 39, 1 de abril de 2014, pp. 161-166, ISSN 0926-5805.

[16] M. F. Silva, "An industrial robotics course based on a graphical simulation package", Engineering Education (CISPEE), 2013 1st International Conference of the Portuguese Society for, vol., no., pp.1,7, 31 de octubre de 2013-1 de noviembre de 2013.

[17] CIROS; página web oficial [en línea]. Disponible en: http://www.ciros-engineering.com. Accesible el 15 de abril de 2014.

[18] FESTO; página web oficial [en línea]. Disponible en http://www.festo-didactic.com. Accesible el 15 de abril de 2014.

[19] U. Karras, Festo [en línea]. Festo Didactic GmbH & Co. KG. Denkendorf, 2010. Disponible en: http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/ciros_robotics_manual_es.pdf. Accesible el 15 de abril de 2014.

[20] ARENA Simulation, página oficial [en línea]. Disponible en: http://www.arenasimulation.com/. Accesible el 15 de abril de 2014.

[21] Rockwell Automation, página oficial [en línea]. Disponible en: http://www.rockwellautomation.com/. Accesible el 15 de abril de 2014.

[22] FleXSim, página oficial [en línea]. Disponible en: http://www.flexsim.com Accesible el 15 de abril de 2014.

[23] Webots, página oficial [en línea]. Disponible en: http://www.cyberbotics.com. Accesible el 15 de abril de 2014.

[24] Entradas referentes a Webots en IEEE Xplore Digital Library. Disponible en http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?queryText%3DWebots&sortType=desc_p_Publication_Year&pageNumber=1&resultAction=SORT. Accesible el 15 de abril de 2014.

[25] Entradas referentes a Webots en ACM Digital Library. Disponible en http://dl.acm.org/results.cfm?query=%28Webots%29%20and%20%28Abstract%3AWebots%29&querydisp=%28Webots%29%20and%20%28Abstract%3AWebots%29&srt=meta_published_date%20dsc&short=0&coll=DL&dl=GUIDE&source_disp=&source_query=Webots&since_month=&since_year=&before_month=&before_year=&termshow=matchboolean&range_query=&zadv=1. Accesible el 15 de abril de 2014.

[26] Entradas referentes a Webots en Springer. Disponible en http://link.springer.com/search?query=Webots&sortOrder=newestFirst. Accesible el 15 de abril de 2014.

[27] Entradas referentes a Webots en MIT Press Journals. Disponible en http://www.mitpressjournals.org/action/doSearch?type=advanced&target=advanced&field1=authors&text1=&logicalOpe1=AND&field2=articletitle&text2=&logicalOpe2=AND&field3=all&text3=Webots&search.x=21&search.y=15&history=&categoryId=all&filter=multiple&AfterYear=&BeforeYear=&sortBy=date&displaySummary=false&nh=20&. Accesible el 15 de abril de 2014.

[28] Aldebaran Robotics, página oficial [en línea]. Disponible en: http://www.aldebaran.com. Accesible el 15 de abril de 2014.

[29] KUKA Robotics, página oficial [en línea]. Disponible en: http://www.kuka-robotics.com/. Accesible el 15 de abril de 2014..

[30] G. Carro Fernandez, "Comunicación sin hilos como facilitador del aprendizaje presencial con robots y uso de entornos de simulación virtuales para robótica industrial". Boletín electrónico de la IEEE Student Branch UNED, no. 16 pp. 15-29, 1 de septiembre de 2011. ISSN: 1989-2195.

[31] National Instruments; página oficial [en línea]. Disponible en http://www.ni.com/. Accesible el 15 de abril de 2014.

[32] MathWorks; página oficial [en línea]. Disponible en www.mathworks.com. Accesible el 15 de abril de 2014.

[33] Simulink Coder; página oficial [en línea]. Disponible en http://www.mathworks.es/products/simulink-coder/. Accesible el 15 de abril de 2014.

[34] MatLab Builder NE; página oficial [en línea]. Disponible en http://www.mathworks.es/products/netbuilder/. Accesible el 15 de abril de 2014.

[35] MatLab Builder JA; página oficial [en línea]. Disponible en http://www.mathworks.es/products/javabuilder/. Accesible el 15 de abril de 2014.

[36] MatLab Web Application; página oficial [en línea]. Disponible en http://www.mathworks.es/desktop-web-deployment/deploying-code-web-application.html. Accesible el 15 de abril de 2014.

[37] MatLab Web Server; página oficial [en línea]. Disponible en http://www.mathworks.es/products/new_products/webserver_discontinued.html?s_cid=r2006b_webserver. Accesible el 15 de abril de 2014.

[38] Soporte de MatLab para Arduino; página oficial [en línea]. Disponible en http://www.mathworks.es/hardware-support/arduino-matlab.html. Accesible el 15 de abril de 2014.

[39] Soporte de MatLab para Raspberry Pi; página oficial [en línea]. Disponible en http://www.mathworks.es/hardware-support/raspberry-pi.html. Accesible el 15 de abril de 2014.

[40] Soporte de MatLab para BeagleBoard; página oficial [en línea]. Disponible en http://www.mathworks.es/hardware-support/beagleboard.html. Accesible el 15 de abril de 2014.

[41] Soporte de MatLab para Lego Mindstorm; página oficial [en línea]. Disponible en http://www.mathworks.es/hardware-support/lego-mindstorms-matlab.html. Accesible el 15 de abril de 2014.

[42] Soporte de MatLab para robots NAO; página oficial [en línea]. Disponible en http://www.mathworks.es/hardware-support/nao-robot-matlab.html. Accesible el 15 de abril de 2014

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

[43] Versión educativa de MatLab; página oficial. Disponible en http://www.mathworks.es/academia/student_version/. Accesible el 15 de abril de 2014..
[44] Foro de National Instruments sobre Raspberry Pi; página oficial [en línea]. Disponible en http://forums.ni.com/t5/LabVIEW/LV-Support-for-Raspberry-Pi/td-p/1895035. Accesible el 15 de abril de 2014.
[45] Soporte de LabVIEW para Lego Mindstorm; página oficial [en línea]. Disponible en http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/210666. Accesible el 15 de abril de 2014.
[46] Kit de prototipos de robótica de LabVIEW; página oficial [en línea]. Disponible en http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/208010. Accesible el 15 de abril de 2014.
[47] Plataforma de LabVIEW para iRobot; página web oficial [en línea]. Disponible en http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/210232. Accesible el 15 de abril de 2014.
[48] Meckstroth, M.; Robotics 4-1-1: Four Platforms for One Prototype in One Month or Less [en línea]. Disponible en http://www.ni.com/white-paper/9079/en/. Accesible el 15 de abril de 2014.
[49] G. Carro Fernandez, S. M. Gutierrez, E. S. Ruiz, F. Mur Perez y M. Castro Gil, "Robotics, the New Industrial Revolution", Technology and Society Magazine, IEEE, vol.31, num.2, pp.51,58, verano de 2012.
[50] S. Hirai, "Robotics as a social technology", Mechatronics and Automation, 2009. ICMA 2009. International Conference on, vol., no., pp.xl,xli, 9-12 de Agosto de 2009.
[51] A. De Santis, B. Siciliano, A. De Luca y A. Bicchi, "An atlas of physical human–robot interaction", Mechanism and Machine Theory, vol. 43, pp. 253-270, 3, 2008.
[52] S. Harris, "Robots are coming [Utopias Manufacturing]", Engineering & Technology, vol.9, no.1, pp.48,50, febrero de 2014.
[53] G. Carro Fernandez, *Modelado de un sistema de control telemático para equipos robotizados (SICTER)*. Tesis de Máster. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Madrid, 2012..
[54] A. B. Kahng, "Scaling: More than Moore's law," *Design & Test of Computers*, IEEE , vol.27, no.3, pp.86,87, mayo-junio de 2010.
[55] G. Tokdemir y S. Bilgen, "Remote Lab Effectiveness Assessment Model," Optimization of Electrical and Electronic Equipment, 2008. OPTIM 2008. 11th International Conference on , vol., no., pp.234-239, 22-24 de mayo 2008.
[56] J. E. Corter, J. V. Nickerson, S. K. Esche y C. Chassapis, "Remote versus hands-on labs: a comparative study," Frontiers in Education, 2004. FIE 2004. 34th Annual , vol., no., pp. F1G- 17-21 Vol. 2, 20-23 de octubre de 2004.
[57] E. San Cristobal Ruiz, Metodología, estructura y desarrollo de interfaces intermedias para la conexión de laboratorios remotos y virtuales a plataformas educativas. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Madrid, 2010.
[58] I. Titov, "Labicom.net - The on-line laboratories platform," Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2013 IEEE , vol., no., pp.1137,1140, 13-15 March 2013..
[59] P. Orduña, Transitive and scalable federation model for remote laboratories. Tesis doctoral. Facultad de Ingeniería, Universidad de Deusto. Bilbao, 2013. Disponible en http://www.weblab.deusto.es/pub/dissertation_pablo.pdf. Accesible el 15 de abril de 2014.
[60] WebLab-Deusto, página oficial [en línea]. Disponible en: http://www.weblab.deusto.es/website/. Accesible el 15 de abril de 2014.
[61] R. Cordeiro y J. M. Fonseca, "Euronet Lab: Euronet LAB, A cloud V-lab enviroment," Information Systems and Technologies (CISTI), 2010 5th Iberian Conference on, vol., no., pp.1-5, 16-19 de junio de 2010.
[62] A. del Blanco, A. Serrano, M. Freire, I. Martinez-Ortiz, y B. Fernandez-Manjon, "E-Learning standards and learning analytics. Can data collection be improved by using standard data models?," Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2013 IEEE , vol., no., pp.1255,1261, 13-15 de marzo de 2013.
[63] Hsu-Chen Cheng; Wen-Wei Liao, "Establishing an lifelong learning environment using IOT and learning analytics," Advanced Communication Technology (ICACT), 2012 14th International Conference on, vol., no., pp.1178,1183, 19-22 de febrero de 2012.
[64] P. Daponte, D. Grimaldi y S. Rapuano, "New frontier of the m-learning in instrumentation and measurement: Experiment creation," Software, Telecommunications and Computer Networks, 2008. SoftCOM 2008. 16th International Conference on, vol., no., pp.415-419, 25-27 de septiembre de 2008.
[65] O. H. Graven y D. A. H. Samuelsen, "Work in progress: Software for remote laboratories designed with the focus on learners", Frontiers in Education Conference (FIE), 2012, 2012, pp. 1-2.
[66] S. Martin Gutierrez, M2learn: framework for development of mobile and ubiquitous learning applications. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Madrid, 2010..
[67] J. Garcia-Zubia, D. Lopez-de-Ipia, P. Orduña, "Mobile Devices and Remote Labs in Engineering Education," *Advanced Learning Technologies, 2008. ICALT '08. Eighth IEEE International Conference on* , vol., no., pp.620-622, 1-5 de Julio de 2008.
[68] H. Vargas, S. Dormido and J. Sánchez, LabVIEW en la Enseñanza del Control: Laboratorios Virtuales y Remotos de Automática [en línea], 2008. Disponible en http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-11089. Accesible el 15 de abril de 2014.
[69] R. H. Vargas, N. Dormido and S. D. Duro, "Creación de laboratorios virtuales y remotos usando Easy Java Simulations y LabVIEW. El sistema Heatflow como un caso de estudio", XXVII Jornadas de Automática, Almería, 2006. ISBN: 84-689-9417-0.
[70] D. Chaos, J. Chacón, J. A. Lopez-Orozco y S. Dormido, "Virtual and Remote Robotic Laboratory Using EJS, MATLAB and LabVIEW", Sensors, num. 13, pp. 2595-2612, 2013.
[71] R. Costa-Castelló, M. Vallés, L.M. Jiménez, L. Diaz-Guerra, A. Valera, R. Puerto, "Integración de dispositivos físicos en un laboratorio remoto de control mediante diferentes plataformas: LabVIEW, Matlab y C/C++", Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI, Volume 7, Issue 1, January 2010, Pages 23-34, ISSN 1697-7912.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

Germán Carro Fernández (StM'06–GSM'07–M'15). El autor ha sido Student Member (StM) del IEEE en 2006, Graduate Student Member (GSM) en 2007, Member (M) en 2015. Nació en A Coruña (España) en 1973. Es Doctor en Ingeniería Industrial por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Madrid, España , 2014, Máster en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Control Industrial (Especialidad en Ingeniería Telemática) de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Madrid, España, 2012, Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas (UNED), Madrid, España, 2010, Máster en Administración Financiera y Tributaria, Universidad de A Coruña (UDC) y Escuela de Hacienda Pública (EHP), A Coruña, España, 1997, Licenciado en Ciencias Económicas y Empresariales (UDC), A Coruña, España, 1996. Miembro del IEEE desde 2006 y de varias de sus sociedades internacionales (IEEE Education, IEEE Computer, and IEEE Robotics and Automation). Sus áreas de interés engloban los laboratorios remotos y su desarrollo e implementación, robótica, IoT y seguridad informática, así como la integración de estas disciplinas en la sociedad desde diferentes ámbitos: educación, doméstico, comercial, médico y social.

Él es autor de varias publicaciones en revistas y conferencias prestigiosas como "IEEE Technology and Society Magazine". Desde Junio de 2015 es Director del Centro Asociado de la UNED en A Coruña, si bien desde octubre 2012 ya era profesor e investigador colaborador en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, y Control Industrial (DIEEC) de la UNED. Asimismo en los últimos años ha compatibilizado dicha labor con su actividad como asesor, consultor y desarrollador autónomo como socio de una empresa especializada en la asesoría fiscal, laboral, contable y financiera y otra orientada a la consultoría informática sobre hardware, software, instalación de redes y seguridad, desarrollo de software y aplicaciones móviles, Web 2.0, Web 3.0, Realidad Aumentada, eLearning, IoT y tecnología en general. Es desarrollador del proyecto "Contego Software", herramienta criptográfica en Java, con licencia GPLv3, multiplataforma y multilenguaje, que ha recibido varios premios internacionales de empresas de software. Su último proyecto es SiLaRR, desarrollado como parte de su tesis doctoral. La robótica, tecnologías y dispositivos IoT y la seguridad informática son sus campos de investigación.

El Dr. Carro Fernández ha colaborado en varios proyectos de investigación como eMadrid y Go-Lab (FP7-ICT-2011-8/317601) y de divulgación y promoción de la tecnología entre los jóvenes como IEEE TISP, o el proyecto Techno Museum en colaboración con la UNED, Universidad de Zaragoza, EduQTech y el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (MUNCYT). Obtuvo el premio "Best Student Paper Award" en IEEE EDUCON 2012 y el "Certificate of Appreciation from IEEE" en el 2011. Desde el 2006 ha participado activamente en la Rama de Estudiantes del IEEE de la UNED, llegando a presidirla durante los años 2010 al 2012, año en que la Rama obtuvo el "IEEE Spain Section Award 2012". Fue presidente del Capítulo Estudiantil de la Education Society en la propia Rama, y vocal del Capítulo español de la IEEE Computer Society. Actualmente forma parte del IEEE EAS de la Región 8 dentro del Subcomité de Preuniversity Activities.

Manuel Castro Gil es Doctor Ingeniero Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) e Ingeniero Industrial, especialidad Electricidad, intensificación Electrónica y Automática, por la misma Escuela. Ha obtenido el Premio Extraordinario de Doctorado de la UPM así como el Premio Viesgo 1988 a la Tesis Doctoral por la aportación a la Investigación Científica sobre Aplicaciones de la Electricidad en los Procesos Industriales. Ha obtenido el Premio a los mejores Materiales Didácticos en Ciencias Experimentales del Consejo Social de la UNED en los años 1997 y 1999 y ha recibido el premio a la "Innovative Excellence in Teaching, Learning & Technology" del "Center for the Advancement of Teaching and Learning" del año 2001. Participa en numerosos proyectos de investigación como investigador, coordinador y director y publica en revistas y congresos, tanto nacionales e internacionales, en las áreas de aplicaciones de simulación en sistemas, sistemas basados en microprocesadores avanzados, sistemas solares o aplicaciones y sistemas de enseñanza a distancia y telemática hasta la ingeniería eléctrica asistida por ordenador (CAEE), ejerciendo como Director Técnico senior. Actualmente es Catedrático de Universidad del área de Tecnología Electrónica en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control, ETSII de la UNED. Ha sido Vicerrector de Nuevas Tecnologías de la UNED, así como Director del Centro de Servicios Informáticos de la UNED y Subdirector de Investigación, Subdirector de Gestión Académica de la ETSII de la UNED y Director del Departamento. Ha trabajado cinco años como Ingeniero de Sistemas en Digital Equipment Corporation. Publica igualmente libros técnicos, de investigación y didácticos así como material multimedia dentro de sus líneas de investigación y docencia, así como realiza programas de radio, televisión, etc. Pertenece al comité organizador de los congresos IEEE EDUCON, IEEE FIE (Chair Internacional y de Europa, 2000-2006), ISES, TAEE y SAAEI así como es miembro del comité de programa y planificación y revisor y presidente de mesa de diversos congresos. Ha sido co-organizador de la conferencia EDUCON 2010 (Engineering Education Conference), TAEE 2010 (Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica) e ICECE 2005 (International Conference on Engineering and Computer Education). Es co-organizador del congreso FIE 2014 (Frontiers in Education Conference) a organizarse en Madrid por el IEEE y el ASEE. Es co-editor de IEEE-RITA (Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje) y de la revista electrónica del Capítulo Español de la Sociedad de Educación del IEEE. Es miembro Fellow del IEEE (por sus contribuciones a la enseñanza a distancia en la educación de la ingeniería eléctrica e informática); miembro del Administration Committee (AdCOM) de la Sociedad de Educación del IEEE (2005–2012) y Vice-Presidente (2011-2012) de la Sociedad de Educación del IEEE; Fundador y Pasado-Presidente (2004-2006) del Capítulo Español de la Sociedad de Educación del IEEE y Presidente de la Sección Española del IEEE (2010-2011). Ha obtenido el premio de IEEE EDUCON 2011 Meritorious Service Award (de forma conjunta con Edmundo Tovar), de la conferencia EDUCON 2011; el premio 2010 Distinguished Member Award de la Sociedad de Educación del IEEE; el premio 2009 Edwin C. Jones, Jr. Meritorious Service Award de la Sociedad de Educación del IEEE; el premio de 2006 Distinguished Chapter Leadership Award y por su trabajo colectivo en el Capítulo Español de la Sociedad de Educación del IEEE el premio de 2011 Best Chapter Award (otorgado por la Región 8 del IEEE) y el premio 2007 Chapter Achievement Award (otorgado por la Sociedad de Educación del IEEE). Es Vice-Presidente del Consejo de Dirección de ISES (International Solar Energy Society) España.

Francisco Mur Perez es Doctor Ingeniero Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UNED e Ingeniero Industrial, especialidad Electricidad, intensificación Electrónica y Automática por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid. Ha obtenido el Premio Extraordinario de Doctorado de la UNED. Ha obtenido el Premio a los mejores Materiales Didácticos en Ciencias Experimentales del Consejo Social de la UNED en el año 1999. Actualmente es Profesor Titular en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control, ETSII de la UNED.

©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA

Financiado a través de la acción complementaria TIN2009-07333-E/TSI

IEEE Capítulos Español y Português de la Sociedade de Educación

Consello Social Universidade de Vigo