



# Versión Abierta Español – Portugués

de la

## Revista Iberoamericana de Tecnologías del/da Aprendizaje/Aprendizagem

Una publicación de la Sociedad de Educación del IEEE (Capítulo Español)  
Uma publicação da Sociedade de Educação do IEEE (Capítulo Espanhol)

JUN. 2013

VOL. 1

NÚMERO/NUMERO 2

(ISSN 2255-5706)

---

### EDICIÓN ESPECIAL: SIEE 2012 (e ISELEAR 3ª EDICIÓN)

**Editores Invitados:** *Francisco-José García-Peñalvo, Antonio Sarasa Cabezuelo, y José Luis Sierra Rodríguez*

Editorial Especial Software Educativo: Casos de Estudio y Métodos de Desarrollo..... ..... <i>Francisco-José García-Peñalvo, Antonio Sarasa Cabezuelo, y José Luis Sierra Rodríguez</i>	77
Producción de Objetos de Aprendizaje en Cursos de Ingeniería..... ..... <i>S.Blanc y J.V.Benlloch</i>	80
Feedback Efectivo en Prácticas de Programación..... ..... <i>J.M. Alberola y A. García</i>	88
Un Análisis de Ilustraciones Impresas de Tres Técnicas de Diseño de Algoritmos..... ..... <i>N. Esteban, A. Pérez, B. Sáenz y J.A.Velázquez</i>	97
Construyendo Familias de Productos Software para Plataformas e-Learning: Un Caso de Estudio.... ..... <i>Sánchez, D. García y M.E. Zorilla</i>	105
Desarrollo de Soluciones para e-Learning: Diferentes Enfoques, un Objetivo Común ..... ..... <i>Juan-Manuel Dodero, Francisco-José García-Peñalvo, Carina González, Pablo Moreno-Ger, Miguel Ángel Redondo, Antonio Sarasa, y José-Luis Sierra</i>	113

### EDIÇÃO ESPECIAL: ENGENHARIA REMOTA E INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL (REV)

**Editores Invitados:** *Javier García Zubía, Gustavo R. Alves*

Editorial Especial Engenharia Remota e Instrumentação Virtual (REV)..... ..... <i>Javier García Zubía, Gustavo R. Alves</i>	123
--	-----

---

(Continúa en la Contraportada)

**CONSEJO/CONSELHO EDITORIAL**

**Presidente (Editor Jefe):**

Martín Llamas Nistal,  
Universidad de Vigo, España

**Vicepresidente (Coeditor):**

Manuel Castro Gil, UNED, España

**Editor Asociado para lengua**

**Portuguesa:**

Carlos Vaz do Carvalho,  
INESP, Portugal

**Miembros:**

Melany M. Ciampi, COPEC, Brasil  
Javier Quezada Andrade,  
ITESM, México

Edmundo Tovar, UPM, España  
Manuel Caeiro Rodríguez,  
Universidad de Vigo, España  
Juan M. Santos Gago,  
Universidad de Vigo, España  
José Carlos Quadrado. Instituto  
Superior de Engenharia de Lisboa  
(ISEL), Portugal

**Secretaría:**

Gabriel Díaz Orueta, UNED, España

**COMITÉ CIENTÍFICO**

Alfredo Fernández  
Valmayor, Universidad  
Complutense de Madrid,  
España  
Antonio J. López Martín,  
Universidad Estatal de  
Nuevo Méjico, USA  
Antonio J. Méndez,  
Universidad de Coimbra,  
Portugal  
António Vieira de  
Castro, ISEP, Oporto,  
Portugal  
Arturo Molina, ITESM,  
México  
Baltasar Fernández,  
Universidad  
Complutense de Madrid,  
España  
Carlos Delgado,  
Universidad Carlos III  
de Madrid, España  
Carlos M. Tobar Toledo,  
PUC-Campinas, Brasil  
Claudio da Rocha Brito,  
COPEC, Brasil  
Daniel Burgos,  
ATOS Origin, España  
Fernando Pescador,  
UPM, España  
Francisco Arcega,  
Universidad de  
Zaragoza, España  
Francisco Azcondo,  
Universidad de  
Cantabria, España  
Francisco Jurado,  
Universidad de Jaen,  
España

Gustavo Rossi,  
Universidad Nacional  
de la Plata, Argentina  
Héctor Morelos, ITESM,  
México  
Hugo E. Hernández  
Figuerola, Universidad  
de Campinas, Brasil  
Ignacio Aedo,  
Universidad Carlos III  
de Madrid, España  
Inmaculada Plaza,  
Universidad de  
Zaragoza, España  
Jaime Muñoz Arteaga,  
Universidad Autónoma  
de Aguascalientes,  
México  
Jaime Sánchez,  
Universidad de Chile,  
Chile  
Javier Pulido, ITESM,  
México  
J. Ángel Velázquez  
Iturbide, Universidad  
Rey Juan Carlos,  
Madrid, España  
José Bravo, Universidad  
de Castilla La Mancha,  
España  
José Carpio, UNED,  
España  
José Palazzo M. De  
Oliveira, UFGRS, Brasil  
José Salvado, Instituto  
Politécnico de Castelo  
Branco, Portugal  
José Valdeni de Lima,  
UFGRS, Brasil

Juan Quemada, UPM,  
España  
Juan Carlos Burguillo  
Rial, Universidad de  
Vigo, España  
J. Fernando Naveda  
Villanueva,  
Universidad de  
Minnesota, USA  
Luca Botturi,  
Universidad de Lugano,  
Suiza  
Luis Anido, Universidad  
de Vigo, España  
Luis Jaime Neri Vitela,  
ITESM, México  
Manuel Fernández  
Iglesias, Universidad de  
Vigo, España  
Manuel Lama Penín,  
Universidad de Santiago  
de Compostela, España  
Manuel Ortega,  
Universidad de Castilla  
La Mancha, España  
M. Felisa Verdejo,  
UNED, España  
María José Patrício  
Marcelino, Universidad  
de Coimbra, Portugal  
Mateo Aboy, Instituto  
de Tecnología de  
Oregón, USA  
Miguel Angel Sicilia  
Urbán, Universidad de  
Alcalá, España  
Miguel Rodríguez  
Artacho, UNED, España

Óscar Martínez  
Bonastre, Universidad  
Miguel Hernández de  
Elche, España  
Paloma Díaz,  
Universidad Carlos III  
de Madrid, España  
Paulo Dias,  
Universidade do Minho,  
Portugal  
Rocael Hernández,  
Universidad Galileo,  
Guatemala  
Rosa M. Vicari, UFGRS,  
Brasil  
Regina Motz,  
Universidad de La  
República, Uruguay  
Samuel Cruz-Lara,  
Université Nancy 2,  
Francia  
Víctor H. Casanova,  
Universidad de Brasilia,  
Brasil  
Vitor Duarte Teodoro,  
Universidade Nova de  
Lisboa, Portugal  
Vladimir Zakharov,  
Universidad Estatal  
Técnica MADL, Moscú,  
Rusia  
Xabiel García pañeda,  
Universidad de Oviedo,  
España  
Yannis Dimitriadis,  
Universidad de  
Valladolid, España

# Software Educativo: Casos de Estudio y Métodos de Desarrollo

Francisco-José García-Peñalvo, Antonio Sarasa Cabezuelo, y José Luis Sierra Rodríguez

**Title—Educational Software: Case Studies and Development Methods**

**Abstract—The goal of this invited editorial is to introduce an IEEE-RITA special issue on case studies and development methods of educational software. The special issue integrates thoroughly revised and extended versions of four outstanding papers presented at the 14<sup>th</sup> International Symposium on Computers in Education (SIIE'12), held in Andorra in October 2012, as well as at the 3<sup>rd</sup> Workshop on Software Engineering for e-Learning (ISELEAR'12), which was collocated as a satellite event of SIIE'12. The special issue also includes one position paper concerning different perspectives of software development for e-Learning, which mirrors the discussions on the topic maintained during ISELAR'12.**

**Index Terms—Computers and Education, Educational System, Software Engineering, e-Learning Engineering, Educational Technology**

## I. INTRODUCCIÓN

EL éxito conseguido por la XIV edición de SIIE (Simposio Internacional en Informática Educativa), celebrada en Andorra durante los días 29 al 31 de Octubre de 2012 (<http://siie12.uols.org/>), evidenció una vez más como el evento se ha convertido en un referente obligado en Informática Educativa en el ámbito iberoamericano. Durante el transcurrir de la misma los asistentes pudieron asistir a la presentación de multitud de contribuciones en el ámbito de la Informática Educativa que evidenciaron un grado elevado de rigor científico y calidad. Entre las comunicaciones presentadas, un buen número se centraron, como ya es habitual en esta conferencia, en la presentación de *software* educativo diseñado para cubrir necesidades de dominios pedagógicos específicos. Dichas contribuciones mostraron un equilibrio ideal entre los aspectos pedagógicos y tecnológicos de los sistemas presentados, y atrajeron el interés tanto de especialistas en los dominios educativos como de los participantes interesados en el desarrollo de este tipo de sistemas.

Francisco-José García-Peñalvo pertenece al Departamento de Informática y Automática de la Universidad de Salamanca. Plaza de los Caídos S/N, 37008, Salamanca, España (email: fgarcia@usal.es)

Antonio Sarasa Cabezuelo pertenece al Departamento de Sistemas Informáticos y Computación, Universidad Complutense de Madrid. C/Profesor José García Santesmases, s/n., 28040, Madrid, España (email: asarasa@fdi.ucm.es).

José Luis Sierra Rodríguez pertenece al Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial, Universidad Complutense de Madrid. C/Profesor José García Santesmases, s/n., 28040, Madrid, España (autor de contacto, Tel: +34 91 394 7548; Fax: +34 91 394 7547; email: jlsierra@fdi.ucm.es)

Por otra parte, en la citada edición 2012 SIIE alojó, como evento satélite, la tercera edición de ISELEAR (el Taller sobre Ingeniería del Software y e-Learning), taller orientado a discutir todos los aspectos relativos a la aplicación sistemática de técnicas de Ingeniería del Software a la construcción de sistemas e-Learning. Este hecho permitió crear una sinergia entre ambos eventos francamente interesante, al aunar en un mismo marco espacial y temporal experiencias y casos de estudio reales en informática educativa con una discusión activa sobre métodos sistemáticos de desarrollo de dicho tipo de sistemas.

En este contexto surge el presente número especial de IEEE RITA sobre “Software Educativo: Casos de Estudio y Métodos de Desarrollo”. El objetivo de este número especial es reunir trabajos sobre casos de estudio de software educativo con trabajos sobre métodos sistemáticos de desarrollo de este tipo de sistemas. Para tal fin, el número especial se compone de versiones extendidas y revisadas de: (i) dos trabajos sobre casos de estudio presentados en SIIE'12, (ii) dos trabajos sobre métodos de desarrollo –uno presentado en SIIE'12, y otro presentado en ISELEAR'12, y (iii) un artículo integrador de los distintos puntos de vista expuestos en la mesa redonda celebrada en ISELEAR'12 sobre desarrollo de sistemas e-Learning, revisados y reelaborados por los participantes en la misma. Cada uno de los trabajos incluidos en el número especial ha sido revisado y extendido por los autores, y sometido al proceso de revisión estándar fijado por IEEE RITA, a través de un proceso de revisión anónima que ha contado con la colaboración de expertos externos para cada uno de los trabajos seleccionados.

## II. LOS ARTÍCULOS

En esta sección se presentan los artículos que integran este número especial. Tal y como ya se ha indicado, el número especial contiene dos artículos centrados en casos de estudio de software educativo (sección II.A), y otros tres artículos centrados en aspectos más específicos de desarrollo y de Ingeniería del Software aplicada al e-Learning (sección II.B).

### A. Casos de Estudio

Los dos artículos que se agrupan en este epígrafe se corresponden con versiones extendidas y revisadas de trabajos presentados en SIIE'12.

#### 1) “Producción de Objetos de Aprendizaje en Cursos de Ingeniería”

Los autores de este artículo, S.Blanc y J.V.Benlloch (Universidad Politécnica de Valencia), presentan un enfoque

a la producción de repositorios de objetos educativos que involucra activamente a estudiantes universitarios de asignaturas técnicas (Tecnología de Computadores, y Redes de Computadores). El trabajo muestra cómo una comunidad de usuarios suficientemente motivada es capaz de producir materiales interactivos de una complejidad y grado de sofisticación no trivial, así como utilizar un repositorio de objetos educativos como vehículo de cooperación y compartición en la producción y uso de dichos materiales.

### 2) “Feedback Efectivo en Prácticas de Programación”

En este artículo, J.M. Alberola y A. García (Universidad Politécnica de Valencia), analizan el uso de la plataforma educativa disponible en la Universidad Politécnica de Valencia para proporcionar realimentación sobre actividades de programación a alumnos de carreras no informáticas (Química, en particular). Los autores muestran el efecto positivo de dicha realimentación sobre el rendimiento de los alumnos, y discuten también la sobrecarga que ello implica a los profesores, y cómo la plataforma educativa puede contribuir a aliviar dicha sobrecarga.

### B. Métodos de Desarrollo

Este epígrafe agrupa tres artículos sobre métodos sistemáticos de desarrollo (uno de ellos extiende y revisa un trabajo presentado en SIIE'12, otro un trabajo presentado en ISELEAR'12, y el tercero condensa los puntos de vista sobre desarrollo de sistemas e-Learning discutidos en la mesa redonda de ISELEAR'12).

### 1) “Un Análisis de Ilustraciones Impresas de Tres Técnicas de Diseño de Algoritmos”

En este artículo, versión revisada y extendida de un trabajo seleccionado en SIIE'12, N. Esteban, A. Pérez, B. Sáenz y J.A. Velázquez (Universidad Rey Juan Carlos) abordan la problemática del diseño sistemático de software educativo en un dominio altamente especializado: visualización para técnicas algorítmicas. Para ello se centran en tres técnicas concretas (divide y vencerás, vuelta atrás, y programación dinámica), y llevan a cabo un análisis sistemático de cómo dichas técnicas han sido ilustradas visualmente en la literatura. Como resultado obtienen las bases iniciales de diseño gráfico en las que cimentar un sistema de visualización de algoritmos.

### 2) “Construyendo Familias de Productos Software para Plataformas e-Learning: Un Caso de Estudio”

En este artículo, versión revisada y extendida de un trabajo presentado en ISELEAR'12, los autores P. Sánchez, D. García y M.E. Zorilla (Universidad de Cantabria) muestran cómo gestionar la variabilidad en el desarrollo de plataformas e-Learning mediante líneas de productos software, ejemplificando su propuesta con un caso de estudio real (la plataforma e-Learning *Web Miner*). De esta forma, los autores muestran cómo modelar la variabilidad de la plataforma mediante diagramas de características, cómo estructurar la misma en términos de una arquitectura de referencia basada en componentes e instanciable, y cómo llevar cabo automáticamente dicha instanciación.

### 3) “Desarrollo de Soluciones para e-Learning: Diferentes Enfoques, un Objetivo Común”

Este artículo detalla los diferentes puntos de vista mantenidos por los participantes en la mesa redonda sobre “Desarrollo de Software en e-Learning” llevada a cabo en ISELEAR'12, incluyendo los de los propios moderadores de dicha mesa redonda. De esta forma, J.M. Dodero (Universidad de Cádiz) incide sobre aspectos relativos a la automatización sistemática de la producción de software en e-Learning. F.J. García-Peñalvo (Universidad de Salamanca) se centra en las metodologías de desarrollo. C. González (Universidad de La Laguna) incide en los aspectos sociales y humanos del software en el dominio del e-Learning. P. Moreno-Ger (Universidad Complutense de Madrid) se centra en el desarrollo en el dominio especializado de los juegos educativos. M.A. Redondo (Universidad de Castilla La Mancha) aborda aspectos relativos al desarrollo dirigido por modelos y lenguajes, y a los problemas de integración. Por último, A. Sarasa y J.L. Sierra (Universidad Complutense de Madrid) ilustran el uso de gramáticas formales en el desarrollo de software educativo.

### AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer especialmente al editor de la revista, Martín Llamas Nistal por la oportunidad que nos ha ofrecido para difundir en IEEE-RITA estas versiones extendidas y revisadas de las comunicaciones presentadas en SIIE'12 y en ISELEAR'12. Queremos agradecer también a los revisores anónimos que han llevado a cabo la revisión de dichos artículos. Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los proyectos TIN2010-21288-C02-01 y TIN2010-21695-C02-01.



**Francisco-José García-Peñalvo** realizó sus estudios universitarios en informática en la Universidad de Salamanca y en la Universidad de Valladolid y se doctoró en la Universidad de Salamanca. El doctor García-Peñalvo es el director del grupo de investigación GRIAL (Grupo de investigación en Interacción y e-Learning). Sus principales intereses de investigación se centran en el e-Learning, Computadores y Educación, Sistemas Adaptativos, Ingeniería Web, Web Semántica y Reutilización de Software. Ha dirigido y participado en más de 15 proyectos de innovación e investigación. Fue Vicerrector de Innovación Tecnológica de la Universidad de Salamanca entre Marzo de 2007 y Diciembre de 2009. Ha publicado más de 100 artículos en revistas y conferencias internacionales. Ha sido editor invitado en varios números especiales de revistas internacionales (*Online Information Review*, *Computers in Human Behaviour*, *Interactive Learning Environments*...). Además, es miembro del comité de programa de varias conferencias internacionales y revisor de varias revistas internacionales.



**Antonio Sarasa Cabezuelo**, es Licenciado en C.C.Matemáticas en la especialidad de C.C.Computación por la Universidad Complutense de Madrid, Ingeniero Técnico en Informática por la Universidad Nacional de Educación a Distancia, Ingeniero en Informática por la Universitat Oberta de Catalunya y Doctor en Informática por la Universidad Complutense de Madrid. Actualmente es Profesor Colaborador en la Facultad de Informática de la Universidad

Complutense de Madrid, siendo miembro del Grupo de Investigación ILSA (Ingeniería de Lenguajes Software y Aplicaciones). Su investigación se ha centrado en el ámbito del e-Learning, lenguajes de marcado y lenguajes específicos del dominio. Fue uno de los desarrolladores del proyecto Agrega de repositorios digitales. Ha publicado más de 50 trabajos de investigación en conferencias y revistas nacionales e internacionales. Así mismo, es miembro del Subcomité 36 de AENOR



**José Luis Sierra Rodríguez**, es Diplomado y Licenciado en Informática por la Universidad Politécnica de Madrid, y Doctor en Informática por la Universidad Complutense de Madrid. Actualmente es Profesor Titular de Universidad en la Facultad de Informática de la Universidad Complutense de Madrid, donde dirige el Grupo de Investigación ILSA. Su investigación se centra en el desarrollo y usos prácticos de las herramientas de descripción de lenguajes de programación y en

el desarrollo orientado a lenguajes de aplicaciones web e interactivas en los campos de las Humanidades Digitales y el e-Learning. El profesor Sierra ha dirigido y participado en varios proyectos de investigación en los campos de las Humanidades Digitales, e-Learning e Ingeniería de lenguajes Software. Los resultados de estos proyectos han sido publicados en alrededor de 100 artículos de investigación en revistas internacionales, conferencias y capítulos de libros. Es revisor habitual y miembro del comité de programa de revistas y congresos de prestigio. Así mismo, es miembro del Subcomité 36 de AENOR

# Producción de Objetos de Aprendizaje en Cursos de Ingeniería

S. Blanc, J.V. Benlloch-Dualde

**Title— Digital Learning Object Production in Engineering Courses.**

**Abstract— This paper presents an innovation research on promoting self-learning in engineering university courses. The work is focused on students' homework activity that consists of producing Learning digital Objects. The digital objects are self-contained and reusable within the course framework attending to a suitable work planning and supported by digital tools. Additionally to help the student on the achievement of curricula competences by producing these objects, the objects are also available to the whole group in the form of a digital collection of self-study material adapted to the group idiosyncrasy.**

**The paper describes a practical case of study, analyses students' perception of the activity and quantifies the success of the experience.**

**Index Terms—Engineering, Learning Digital Objects, Self-centered Learning, Student Activities**

## I. INTRODUCTION

EN la implantación de los nuevos planes de estudio en grados de ingeniería en el marco de Europa, se ha producido la introducción de un enfoque de formación basado en competencias que potencia el uso de metodologías activas que promueven la participación del alumno en su propio aprendizaje [1] mediante actividades contextualizadas en el currículum de la asignatura.

Sin embargo, para que la actividad del alumno sea realmente efectiva, deberá ir acompañada de un seguimiento docente que permita reconducir el aprendizaje. Es necesario, por tanto, diseñar mecanismos que garanticen una realimentación formativa efectiva.

Existe, entre los docentes una preocupación fundamentada sobre cómo abordar esta realimentación. Hasta ahora, la clave ha sido el uso intensivo de actividades participativas, con algunos ejemplos como [3][4][5][6][7].

Si tenemos en cuenta una ratio profesor-alumnos elevada, la posibilidad de atención al alumno dentro del aula a la hora de realizar estas actividades disminuye y cada actividad planificada supone una sobrecarga docente considerable [3]. Es necesario, por tanto, buscar soluciones alternativas manejables independientemente de la ratio.

Una posible solución es la planificación de actividades fuera del aula. Como ventaja, el alumno dispone de más tiempo para desarrollar la actividad, siempre que la

planificación tenga en cuenta el resto de asignaturas cursadas. Además, el producto resultante de esta actividad suele ser escrito, lo que propicia la realimentación también por escrito, más eficaz que la oral puesto que el alumno puede volver sobre ella tantas veces como sea necesario[8][9].

Además, en la estructura de créditos ECTS [2], para cursos presenciales, la actividad del alumno realizada fuera del aula tiene la misma relevancia que la realizada presencialmente y una asignación de horas/crédito que deben incluirse en la planificación del curso. Esta actividad puede constituir una gran parte del trabajo autónomo del alumno.

Este artículo presenta una experiencia de innovación docente en la E.T.S. de Ingeniería Informática, de la Universidad Politécnica de Valencia. El trabajo tiene por objetivo la mejora del trabajo no presencial del alumno en asignaturas impartidas en el ámbito universitario atendiendo a la diversidad y su viabilidad también en cursos con una ratio profesor-alumnos elevada.

El trabajo versa sobre la producción de Objetos de Aprendizaje digitales. Estos objetos los realizan los propios alumnos asistentes al curso, son auto-contenidos y, a su vez, reutilizables por los alumnos y docentes durante el curso gracias a su formato digital. El producto resultante es una colección de objetos, material adaptado a la idiosincrasia del curso donde se produce.

En este artículo se analiza la propuesta y puesta en práctica del proyecto de innovación, valorando sus resultados y la percepción final que el alumno ha percibido de la experiencia.

El artículo se divide en las siguientes secciones. La sección II presenta y describe el proyecto. La sección III valora la reutilización de los objetos de aprendizaje a través de una correcta planificación y con soporte digital. La sección IV describe las bases de diseño del repositorio digital. En la sección V se presentan los datos recogidos sobre la percepción general del alumno y en la sección VI se analizan los resultados cuantitativos obtenidos. La sección VII concluye el trabajo.

## II. EL PROYECTO

### A. Contexto

En cursos universitarios de primero y segundo de ingeniería, nos enfrentamos con frecuencia a asignaturas de asistencia obligatoria muy numerosas en alumnos. Este es el caso de Tecnología de Computadores y Redes de Computadores, cursadas en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática (ETSII) de la Universidad Politécnica de Valencia [10]. Ambas asignaturas se encuadran en el área

S. Blanc is with the Universitat Politècnica de València (Technical University of Valencia), E.T.S.IINF, camino de vera s/n, 46021, Valencia, Spain (corresponding author e-mail: sablacla@disca.upv.es).

J. V. Benlloch-Dualde is with the Universitat Politècnica de València (Technical University of Valencia). (e-mail: jbenlloc@disca.upv.es).

de *computer engineering* en ACM/IEEE *computing curricula*. Tecnología de computadores pertenece al currículo de electrónica centrándose en semiconductores y familias lógicas. Redes de Computadores se basa en el modelo de interconexión de sistemas abiertos OSI.

Un elevado número de alumnos aumenta la diversidad de conocimientos básicos y competencias de aprendizaje al inicio del curso. Esta diversidad hace que las actividades presenciales no lleguen a ser igual de efectivas para todos los alumnos, apareciendo casos de desmotivación y abandono. Además, la atención al alumno dentro del aula también se complica. Sin embargo, el seguimiento de actividades fuera del aula puede ayudar a los alumnos con más dificultades a progresar a un ritmo adecuado, mientras que los alumnos con mayor probabilidad de éxito no se ven limitados o frenados en su progreso. En cualquier caso, estas actividades ayudan al alumno y al docente a planificar esfuerzos y distribuir la carga a lo largo del curso.

Además, la dedicación del alumno fuera del aula está cuantificada en el sistema de créditos ECTS. Por ejemplo, las asignaturas de Tecnología de Computadores y Redes de Computadores tienen una asignación por cuatrimestre de 6 créditos, lo que supone un valor de 90 horas de estudio autónomo que, distribuidas a lo largo del curso, pueden computarse en unas 6 horas de estudio semanal.

### B. Metodología

Las metodologías denominadas como activas están centradas en el alumno, cuya participación en su aprendizaje favorece el aprendizaje significativo, por comprensión, por investigación y profundo [1]. Los métodos de enseñanza que fomentan la participación del alumno también exigen una cantidad y calidad mejor de su trabajo personal, tanto del realizado dentro del aula como fuera de ella.

Entre las posibles actividades que el alumno puede realizar fuera del aula, este proyecto se centra en la producción cooperativa de material. En concreto, en la producción de Objetos de Aprendizaje.

Producir un Objeto de Aprendizaje ejercita en el alumno las capacidades de abstracción, análisis, síntesis, expresión, comunicación del conocimiento y aplicación. Además, la actividad puede adaptarse para que el alumno reciba realimentación sobre su trabajo pero que a su vez, proporcionar esta realimentación suponga una carga moderada para el docente.

Por un lado, se considera cierta flexibilidad en la asignación. Cada alumno deberá realizar actividades acorde con sus necesidades. Aunque la actividad pueda ser evaluada, la evaluación es un incentivo al esfuerzo, mientras que el principal objetivo es proporcionar información al estudiante sobre su progreso.

Por otro lado, el esfuerzo que el docente realiza con un estudiante debe revertir también en el resto del grupo. Presentando el resultado final o producción de la actividad, el docente puede evitar repetir sobre varios alumnos una misma acción correctora sobre un determinado ítem.

Los alumnos disfrutan del uso de este material “recién hecho” y adaptado al curso concreto en el que se realiza. Hay que asumir que cada curso puede tener variaciones con respecto a años previos, diferentes énfasis socioculturales o verse alterado por variables como el tamaño de grupo o la

extensión temporal. Esta variabilidad puede suponer una carga excesiva para un solo docente que quiera mantener el material adaptado a la idiosincrasia del grupo.

Pero para implementar esta producción cooperativa es necesario proporcionar herramientas digitales adecuadas. Los objetos producidos deben quedar disponibles para todo el grupo en un plazo corto y no quedarse encolados entre las tareas del propio docente. Esta disponibilidad consigna el principio de reutilización. Los objetos son reutilizables desde el momento que cada alumno dispone del trabajo de sus compañeros, bien como ejemplos de su propio trabajo, bien como herramienta de estudio. El material también queda disponible para el docente, bien para su uso durante el curso o bien en cursos posteriores.

Además, la producción digital tiene una ventaja añadida y es que capacita al docente para una revisión dinámica de los contenidos. Los objetos no tienen por qué ser necesariamente evaluados, pero el alumno que los realiza sí necesita realimentación sobre su trabajo, incluso antes de que este sea expuesto públicamente. Una herramienta digital permite visionar el trabajo y revisarlo siempre que la producción se planifique con el compromiso docente de:

- 1) Guiar en la distribución del esfuerzo entendiendo que el curso se engloba dentro de una planificación superior.
- 2) Permitir la mejora del trabajo asociada a la realimentación.
- 3) Velar por la veracidad de los desarrollos.
- 4) Gestionar los objetos haciéndolos accesibles on-line a todo el grupo y de acuerdo con el calendario de evaluación de la asignatura.

### C. Objetivos

En resumen, los objetivos del proyecto son:

- 1) Aumentar el nivel de compromiso del alumno en su propio aprendizaje.
- 2) Orientar en la planificación del aprendizaje con actividades coherentes a las competencias curriculares.
- 3) Procurar mecanismos que faciliten una realimentación formativa eficaz.
- 4) Establecer evidencias sobre el seguimiento y realimentación ofrecida.

### D. Trabajos Relacionados

Los objetos de aprendizaje se definen en el estándar [11] como elementos auto-contenidos y reutilizables. Sin embargo, el estándar es demasiado amplio y ambiguo sobre los tipos de objetos y sus características. Existen otros trabajos que también han recurrido a la producción de objetos de aprendizaje por los alumnos. Por ejemplo, en educación secundaria se presentó el trabajo “Science Created by You” (SCY) en 2010 [12]. En este trabajo se diferencia entre tipos, actividades y escenarios. Los tipos abarcan desde modelos computacionales, programas, mapas conceptuales, dibujos, etc. hasta un total de 8 tipos. Las actividades hacen referencia a la tarea que lleva a la construcción del objeto. Cada tipo, por tanto, tiene asociadas

varias tareas que necesitan de un proceso de producción, denominado escenario. Esta diferenciación es implementable en cualquier nivel de estudios, también los universitarios. Sin embargo, el SCY sigue siendo muy extenso, con 53 tipos de actividades y 13 escenarios de producción. Para una asignatura cuatrimestral universitaria, y acotando la producción de objetos de aprendizaje al trabajo fuera del aula, aún es necesario concretar más su definición.

Otro trabajo donde también se utilizan objetos de aprendizaje creados por los alumnos es el recogido en 2008 por C. L. Abad [13]. En este caso la actividad tiene por objetivo principal la evaluación, realizada por revisión por pares. La reutilización de los objetos se planifica para los siguientes años académicos, no dentro del curso durante el que se realizan. En cuanto a la clasificación de los objetos, utiliza taxonomías existentes como Redeker (2003) [14], OSEL (2006) [15] o Wiley (2000) [16]. Este último trabajo reduce el número de tipos de objetos a 5, que representan 5 grados de dificultad.

La definición dada por D. A. Wiley es precisa y coherente con el estándar. Se definen como objetos didácticos, digitales y reutilizables. Los describe con dos características: *combinación* y *granularidad*.

La posibilidad de que el aprendizaje en una materia pueda recurrir al uso de objetos de aprendizaje creados por diferentes autores, genera la necesidad de que exista cierta homogeneidad en la descripción y formato de dichos objetos con el fin de que se puedan combinar entre sí. Por otra parte, la granularidad hace referencia al tamaño o extensión de la unidad conceptual que contiene el objeto. Definir ambos términos para toda la extensión de Internet es problemático. Sin embargo, el problema se atenúa cuando se delimita el conjunto de autores a los alumnos que cursan una materia y asisten a clase guiados por el mismo profesor.

Sin embargo, aunque el trabajo expuesto por Wiley es muy interesante en cuanto a la definición y descriptores utilizados, es necesario concretar la producción y uso de estos objetos en el aula de ingeniería.

### E. Contenido de los Objetos

El objetivo de un objeto de aprendizaje no es abarcar el contenido completo de una unidad didáctica. Es la combinación de varios objetos lo que nos proporciona una visión más o menos completa del conjunto. Por tanto, un objeto se puede centrar sólo en una parte de la unidad didáctica y su granularidad dependerá de los contenidos. Un profesor experimentado puede identificar estas partes y transmitir esta información a sus alumnos.

Sin embargo, determinamos la combinación de los objetos según su aplicación. Existen asignaturas donde un concepto o una habilidad son aplicables a diferentes casos prácticos más complejos. Son conceptos o habilidades fundamentales sobre las que se construyen otros aprendizajes.

En este caso, es interesante promover la creación de objetos donde cada concepto sea tratado por más de un alumno, ya que, cuantos más objetos se creen, entre todos se puede atender a la diversidad completa del grupo – cuantas más formas de explicar lo mismo obtengamos, mejor.

Sin embargo, si una unidad didáctica abarca una gran cantidad de conceptos específicos complejos es difícil profundizar en las horas presenciales en todos ellos. Si el profesor se limita a la explicación oral, suele pasar “de puntillas”. En este caso, la creación de objetos es también una herramienta adecuada para reforzar la docencia presencial. Si cada alumno trabaja en profundidad una parte de la unidad, “divide y vencerás”, al final el grupo tendrá una colección significativa de material relacionado con la temática del curso.

Un objeto de aprendizaje se define como auto-contenido. Por tanto, el objeto debe contener toda la información necesaria para que un usuario pueda comprender el contenido, incluyendo referencias a otros objetos. El docente puede definir un modelo de estructura y guiar a los alumnos en el desarrollo mediante preguntas que le hagan reflexionar sobre su trabajo.

Además, el contenido del objeto se debería enriquecer incluyendo ejemplos o prácticas haciendo que los objetos no sean incompatibles con otras metodologías o actividades participativas frecuentes en las aulas de ingeniería. Por ejemplo:

- 1) El aprendizaje basado en problemas. Es un método docente que fomenta la participación del alumno en el aprendizaje de competencias relacionadas con la deducción y aplicación de procesos [17][18][19]. Es posible integrar la producción de objetos de aprendizaje con problemas guiados por el docente como extensión del aprendizaje de aula o con problemas originales del propio alumno. La decisión depende del docente que tendrá en cuenta la capacidad de sus alumnos. En ambos casos se trabajan aspectos relevantes de la formación [20].
- 2) Modelos dinámicos. Por ejemplo, modelos implementados sobre herramientas digitales de diseño o simulación; implementaciones funcionales; programas (*Applets*); diseños experimentales; proyectos y desarrollos reales.

Podemos ver algunos ejemplos de *applets* en las Figuras de la 1 a la 4. Son ejemplos reales realizados por alumnos de la asignatura de Tecnología de Computadores en el curso 2010-2011 y de Redes de Computadores en el curso 2011-2012. Estos *applets* o laboratorios virtuales tienen un gran potencial como herramienta de estudio. Por ejemplo, un programa dispone de casillas para introducir el valor de ciertas variables. El programa procesa los datos y obtiene como resultado valores de salida que se muestran, o bien en número o bien en número y sobre la gráfica del circuito. La construcción del objeto enriquece el proceso de aprendizaje, ya que el procesamiento del programa es una virtualización del proceso cognitivo del alumno. Pero además, para el usuario la utilidad del objeto también es constructiva ya que permite plantear múltiples variaciones de un mismo enunciado y obtener el resultado a un *click*.

### III. REUTILIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN

Existen dos dimensiones en la reutilización de los objetos de aprendizaje: reutilización dentro del curso y globalizada. El principal objetivo del trabajo es que los objetos sirvan durante el curso en el que se producen a los propios

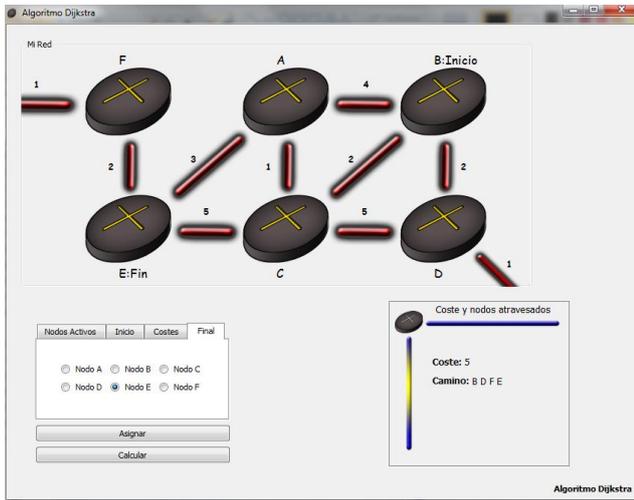
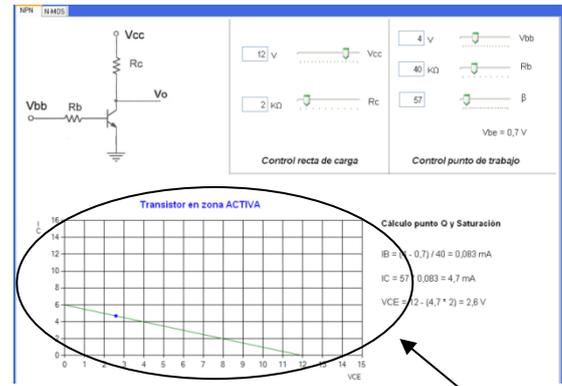
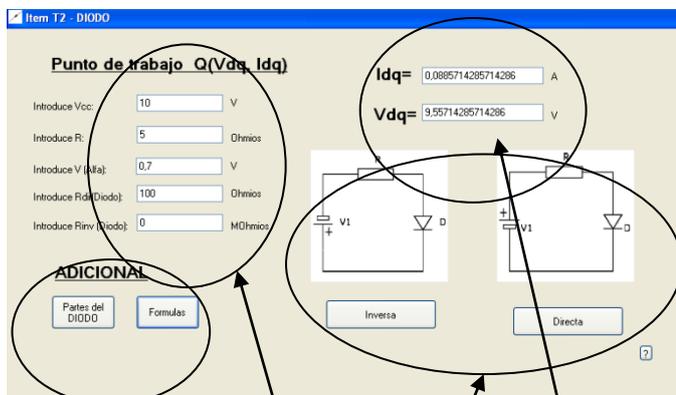


Figura 1. Ejemplo de applet “algoritmo Dijkstra” asignatura de Redes de Computadores 2011-2012



REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS VALORES DE SALIDA

Figura 3. Ejemplo de applet “recta de carga en BJT” asignatura de Tecnología de Computadores 2010-2011



VALORES DE ENTRADA  
VISTA GRÁFICA DEL ENUNCIADO  
VALORES DE SALIDA  
JUSTIFICACIÓN DE LA RESOLUCIÓN

Figura 2. Ejemplo de applet “punto de trabajo: diodos” asignatura de Tecnología de Computadores 2010-2011

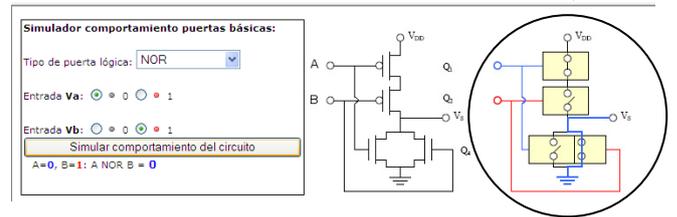


Figura 4. Ejemplo de applet “funciones CMOS” asignatura de Tecnología de Computadores 2010-2011

- 2) La supervisión del objeto se realiza durante su producción; antes de que los objetos queden a disposición pública.
- 3) Los objetos deben estar disponibles para todo el grupo antes de cualquier prueba evaluativa relacionada.

alumnos el curso en el que se producen a los propios alumnos matriculados. Sin embargo, un formato adecuado y estandarizado, como pudieran ser presentaciones o videos, facilitan la posibilidad de subir este material a la red mediante repositorios, blogs, etc.

Además de servir como material de estudio para el alumno, los objetos realizados fomentan otras actividades como la corrección por pares, exposición en el aula, o el debate.

Sin embargo, para que sea posible reutilizar los objetos durante el curso en el que se crean, es necesario hacer una planificación adecuada.

A lo largo de un curso, cada alumno puede producir uno o varios objetos. La planificación de las entregas se condiciona a tres factores:

- 1) Plazos de entrega superiores a una semana; para que el alumno pueda organizar su trabajo atendiendo a la carga general de todo el curso académico de grado, no sólo de la asignatura cursada.

En la Figura 3 se muestra un gráfico con la planificación del curso 2011-2012 de la asignatura de Redes de Computadores. La experiencia se puso en marcha durante el segundo cuatrimestre de la asignatura cuyo periodo presencial total abarca dos cuatrimestres. El temario del segundo cuatrimestre se divide en tres unidades didácticas genéricas – U1, U2 y U3. Adicionalmente a la evaluación que cada docente realiza sobre la actividad del alumno, y a la que asigna un peso del 20% de la nota final, existen en la asignatura otras pruebas evaluativas generales en las semanas 14 y 18.

En la Figura 5 se observan dos casos diferentes de planificación. En el primer caso, la fecha máxima de entrega de los objetos de aprendizaje es posterior a la finalización de la docencia presencial de la unidad y, por tanto, todos los tópicos de la unidad pueden quedar cubiertos con algún objeto.

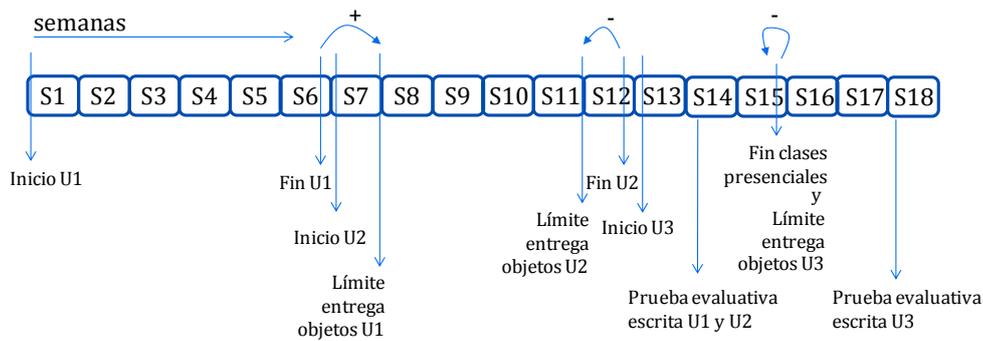


Figura 5. Planificación de entregas de Objetos de Aprendizaje curso 2011 de Redes de Computadores

Este es el caso de la U1 con fecha límite de entrega en la semana 8, una semana después de comenzar la U2. Sin embargo, en el caso de la U2 y la U3 no todos los tópicos quedaron cubiertos. La fecha límite se establece al menos dos semanas antes de los actos de evaluación de las semanas 14 y 18 ya que se priorizó la disponibilidad del material digital para su uso colectivo cara a dichas pruebas.

#### IV. EL REPOSITORIO DIGITAL

Estudiar juntos estimula a mantenerse dentro de la comunidad y evita el abandono. Podemos ver algunos trabajos como en [21]. Sin embargo, ¿qué se entiende por estudiar juntos? Se comparten vivencias dentro del aula, pero según qué situación, los alumnos son más o menos perceptivos del aprendizaje de sus compañeros y pueden comparar con el suyo propio. Las aulas de prácticas, por ejemplo, relajan la formalidad de la lección magistral y permiten el intercambio de conocimientos, pero no son el único mecanismo. Existen otras formas de juntar a los estudiantes, que además de permitirles comparar sus progresos también les ayuda a converger hacia las mismas competencias de aprendizaje. Una propuesta es la unión “digital” del grupo.

La Figura 6 representa la herramienta desarrollada durante el curso 2011-12 para la implementación del proyecto. Su estructura está orientada al aprendizaje cooperativo.

Como en muchas otras universidades europeas, la UPV dispone de repositorios digitales privados. Están pensados para el traspaso de información entre docente-alumno y viceversa. Sin embargo, al plantear este proyecto de producción cooperativa bajo la premisa del aprendizaje del alumno, se percibió la necesidad de una herramienta más flexible para el intercambio de archivos entre los propios alumnos, pero con posibilidad de supervisión del docente (a efectos de realimentación).

La Figura 6 muestra el tratamiento de los objetos. Se ha contemplado dos perfiles: docentes y alumnos (usuarios).

Las acciones que podría realizar un docente son: a) creación de nuevos grupos de contenidos; b) altas de usuarios; c) validación de objetos subidos por el usuario; y d) eliminación de contenidos y bajas de usuarios sin asignación de contenidos. Para los alumnos son: a) gestión de datos personales; b) visualización y descarga de

contenidos validados; c) subida de nuevos contenidos; y d) eliminación de contenidos propios no validados.

La cadena de acciones comienza por la subida de un nuevo objeto. El archivo aparece tan solo visible a los supervisores. Si existe más de un supervisor, todos tienen acceso a los mismos objetos validables para preservar la premisa de colaboración en la docencia. La validación de contenidos realizada por un supervisor no depende de la herramienta sino del objetivo de dicha validación. Puede ser meramente de contención hasta correctiva.

En cualquier caso, la acción de validar sólo necesita de “un tic”, al igual que eliminar un contenido no validado.

Tras la validación del nuevo contenido, este queda accesible a todos los participantes. Se lo podrán descargar, pero no modificar. Ni siquiera el propietario del mismo. Sólo generar nuevas versiones.

Adicionalmente, existen posibilidades de complemento a las acciones mencionadas como son los avisos por correo interno y filtros temporales para las subidas, así como acciones sobre favoritos, como por ejemplo, marcadores de objetos con mayor número de descargas o votaciones.

#### V. LA PERCEPCIÓN DEL ALUMNO

Tras la puesta en marcha del repositorio, al finalizar del curso 2011-2012 se realizó una encuesta de opinión en la asignatura de Redes de Computadores. La asignatura es de segundo curso y varios alumnos ya habían realizado objetos

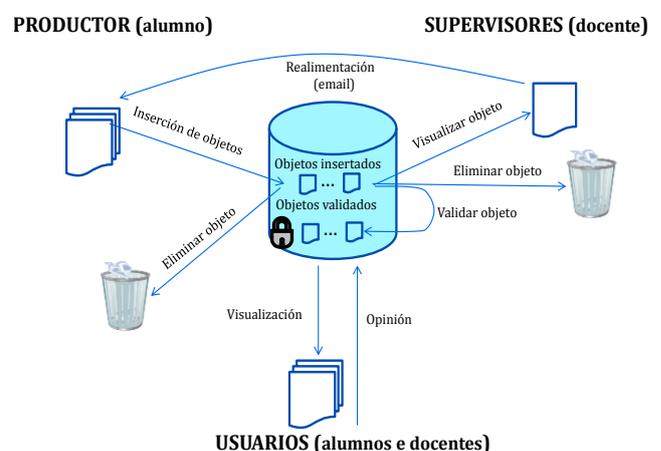


Figura 6. Tratamiento de objetos en la base de datos

de aprendizaje durante el curso 2010 – 2011 en la asignatura de Tecnología de Computadores de primer curso.

La encuesta consta de 24 preguntas que tienen como objetivo determinar tanto el aprovechamiento de los materiales generados por otros compañeros, en qué medida se han utilizado y qué beneficio les han aportado en su propio aprendizaje, como la percepción del alumno sobre la producción de objetos como actividad de aprendizaje. El número de encuestas contestadas fue de 41 sobre los 47 alumnos que han participado en el curso produciendo objetos digitales.

Los ítems encuestados han sido los siguientes:

- 1) *Utilización de materiales generados por otros compañeros para la realización de sus propios objetos.* Ante la pregunta “¿has utilizado los entregables de otros compañeros para ver cómo hacer el tuyo?” un 37% de los encuestados reconoce que sí. Hasta la fecha límite de entrega, todos los objetos realizados van recibiendo realimentación del profesor y si son validados quedan visibles en el repositorio. Además, el 68% respondieron también afirmativamente ante la pregunta “¿te hubiera gustado tener más ejemplos de entregables presentados por otros compañeros?” En realidad, el nivel de ansiedad del alumno a la hora de entregar una tarea sí disminuye si puede comparar su trabajo con el de sus compañeros. Sobre las tareas entregadas se observó que hay trabajos que destacan sobre la media y que, por tanto, es interesante que sean visibles al grupo ya que pueden alentar al resto de participantes a realizar mejoras, o casos que demuestran un nivel de esfuerzo muy bajo o con gran número de incorrecciones y que, por tanto, no deberían mostrarse como ejemplo (no se validan).
- 2) También se ha consultado sobre *el uso de materiales generados por otros compañeros para preparar las pruebas escritas.* El 68.3% contestó directamente que sí ante la pregunta “¿has utilizado los entregables de otros compañeros para estudiar o consultar alguna duda?” Este dato es muy positivo.
- 3) *En cuanto a la selección de los ítems de trabajo* y dado que los alumnos tienen libertad para elegir sus trabajos relacionados con cada unidad didáctica, el formulario incluye preguntas tipo “¿cómo decidiste qué problemas entregar?” o “¿por qué elegiste desarrollar este ítem?” Las respuestas dividen a los alumnos en dos perfiles. Por un lado, aquellos alumnos que consideran muy relevante la nota que vayan a obtener por su trabajo y, por otro lado, aquellos que a-priori realizan su selección sobre ítems en los que reconocen tener más dificultades. El 36.6% se reconocen abiertamente del primer grupo, mientras que el 46.3% se reconocieron del segundo grupo. El resto de encuestados no se quisieron clasificar en ninguno de los dos grupos.  
Este es un aspecto a trabajar en el futuro restando importancia a la evaluación y focalizando la asignación de ítems según las necesidades observadas en cada grupo de alumnos. Sin embargo, la evaluación de la actividad es una forma de incentivar que la actividad se produzca y no se abandone. Así que es necesario encontrar un equilibrio entre evaluación y formación. En concreto, esta actividad

tiene un peso del 10% sobre la nota final del curso. No es un peso elevado y sin embargo la respuesta del alumnado fue alta, pero habría que considerar si esta tendencia es general o puntual.

- 4) En general, a la pregunta directa sobre *si producir objetos refuerza el aprendizaje*, un 69.2% de los alumnos considera que el haber realizado objetos digitales ha sido un refuerzo muy positivo para aprender (3 en una escala del 1 al 3). Un 17.95% reconoce que solo de forma puntual y un 12.82% no expresan su opinión.
- 5) Particularizando sobre *la realimentación*, en el caso de la revisión realizada por el profesor, un 49% reconoce como positiva la realimentación recibida para mejorar sus objetos. Sin embargo, el 61% reconoce haber recurrido a algún compañero antes que al profesor. La diferencia es importante porque, mientras que el alumno no suele pedir explícitamente realimentación al profesor antes de la entrega, cuando busca ayuda en sus compañeros lo hace porque realmente considera que necesita ayuda, o al menos un refuerzo positivo que le proporcione seguridad para hacer dicha entrega. En parte, esta es una forma de colaboración que reduce la carga del docente. Sin embargo, es necesario buscar canales formales para que esta colaboración sea productiva y no genere ruido innecesario.
- 6) Finalmente se ha preguntado a los alumnos sobre la *dedicación* en: a) planificación del trabajo; b) búsqueda de información; c) validación de la información, confianza y veracidad de la fuente; d) síntesis de la información; e) expresión creativa y f) reconstrucción orientada a la comunicación. En cada punto, el alumno ha valorado el tiempo invertido en una escala Likert del 1 al 5 (1 muy poco y 5 mucho).

En general, según la percepción que han tenido nuestros alumnos, la planificación del trabajo es a la que menor dedicación le reconocen. En la búsqueda de información, 12 alumnos de los 41 encuestados dicen haber dedicado la mayor parte del tiempo invertido en esta tarea, pero tan solo 4 de ellos invirtieron el mismo tiempo en validar dicha información. Sin embargo, el tiempo dedicado a sintetizar se valora muy frecuentemente con un 4 mientras que la expresión creativa recibe en la misma medida tanto 3 como 4. Finalmente, la construcción de la tarea se valora con un 3. Realmente, es la síntesis de la información la acción a la que más tiempo y esfuerzo dedican los alumnos, en general, a la hora de abordar la producción de objetos, sin reflexionar, en muchos casos sobre cómo se van a planificar el tiempo, de dónde van a obtener la información o la veracidad de la fuente. Por eso, es necesario depurar la actividad de producción para que sea más reflexiva e instructiva en estos puntos.

Además de la encuesta, también se contabilizaron los accesos a los objetos. Ya fuera para ver cómo realizar su propio objeto o como material de estudio, se contabilizaron 1407 accesos de alumnos sobre 80 objetos realizados por 47 participantes, desglosados en 968 accesos a objetos de tipo Problemas y 439 a objetos de tipo Modelos. Si también contabilizamos el número de alumnos que accedieron a objetos de otros compañeros, no a los suyos propios, han sido 45 de los 47 participantes.

## VI. RESULTADOS

La valoración de la experiencia también puede ser cuantitativa. La asignatura de Redes de Computadores es una asignatura anual, de dos cuatrimestres de 15 semanas de actividades presenciales de aula. Durante el primer cuatrimestre del curso, todos los grupos realizaron actividades de aula similares. Ninguno contempló la realización de objetos de aprendizaje digitales.

Las comparativas de las Figuras 7 y 8 muestran el número de alumnos distribuidos en cuatro franjas de notas en una escala sobre 10 puntos.

La Figura 7 compara, durante este primer cuatrimestre del curso, a los alumnos del grupo experimental (OA) y el resto de alumnos a través de su nota de evaluación cuatrimestral. Mientras que en la Figura 8 se muestra la misma comparativa para el segundo cuatrimestre. La Figura 8 correlaciona la nota obtenida en el examen escrito cuatrimestral y no incluye la nota de aula.

En la Figura 7 se observa una diferencia de un 20% entre los alumnos con una nota inferior al 5 del grupo experimental (OA) y el resto de alumnos. En general, se puede observar que los alumnos del grupo experimental tuvieron dificultades para superar la prueba escrita correspondiente a la primera parte del curso.

Sin embargo, en la Figura 8 observamos un cambio importante en esta tendencia. Los datos obtenidos son doblemente positivos. En primer lugar, se observa una reducción de las diferencias entre el grupo experimental y el resto de grupos, llegando a superarlos en un 7% en la tercera franja, lo que supone una subida global en esta franja de un 22%. En segundo lugar, porque los alumnos del grupo experimental parten, en un 60%, de un aprendizaje por debajo del mínimo esperado en el primer cuatrimestre.

## VII. CONCLUSIONES

En este artículo se presenta un trabajo de innovación docente cuyo objetivo es la mejora del trabajo autónomo del alumno en asignaturas impartidas en el ámbito universitario atendiendo la diversidad y expectativas del estudiante.

El trabajo versa sobre la producción de Objetos de Aprendizaje digitales que realizan los propios alumnos asistentes a los cursos de ingeniería como parte de su trabajo y aprendizaje de las competencias curriculares. Estos objetos son desarrollos auto-contenidos y reutilizables gracias a su formato digital. La actividad de producción tiene un enfoque de aprendizaje centrado en el alumno donde el profesor guía en la distribución del esfuerzo y consecución de metas y a su vez proporciona una realimentación formativa eficaz y dentro de unos límites manejables de su carga docente.

En este trabajo se analiza la puesta en práctica del proyecto y la percepción que han obtenido los alumnos participantes. Una de las observaciones más destacadas es la sociabilidad de esta metodología. Los alumnos se sienten más seguros en su progreso si pueden establecer una conexión entre su aprendizaje y el del grupo.

En general, la percepción de los alumnos es positiva y así se cuantifica en el número de accesos que reciben los objetos en el repositorio digital, así como en los resultados obtenidos en la evaluación cuatrimestral de la asignatura.

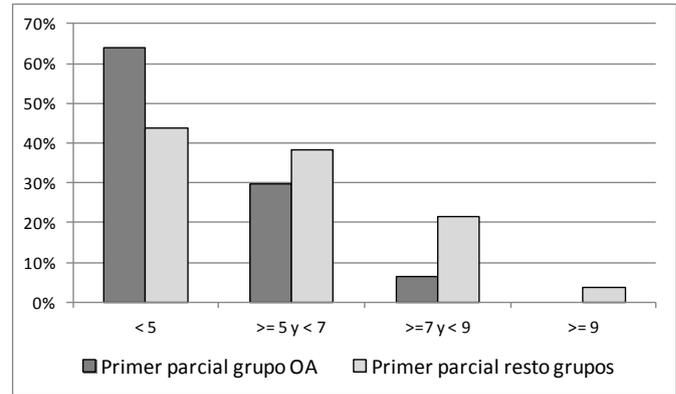


Figura 7. Comparativa primer cuatrimestre grupo experimental OA

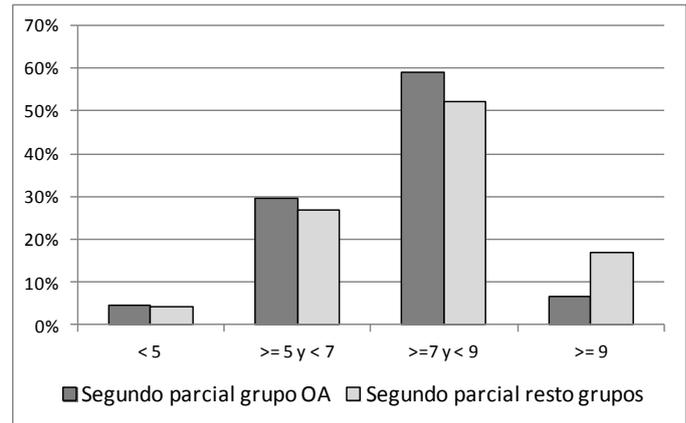


Figura 8. Comparativa segundo cuatrimestre grupo experimental OA

Los aspectos a mejorar están relacionados con el proceso de creación de los objetos y con el fomento de la supervisión colaborativa de los trabajos realizados.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente subvencionado por la E.T.S de Ingeniería Informática de la Universitat Politècnica de València.

## REFERENCIAS

- [1] A. Fernández-Marc. Metodologías Activas para la Formación en Competencias, Instituto de Ciencias de la Educación, Universidad Politécnica de Valencia, *Educatio siglo XXI* 24, pp. 35 – 56, 2006.
- [2] ECTS system. ECTS: European Credit Transfer and Accumulation System, en web.
- [3] X. C. Pardo, M. J. Martín, J. Sanjurjo, C. V. Regueiro. Teaching Digital Systems in the Context of the New European Higher Education Area: A Practical Experience. *IEEE T. on Education* 52(4), pp. 513–523, 2009.
- [4] J. García, A. Hernández. Active Methodologies in a Queuing System Course for Telecommunication Engineering Studies. *IEEE T. on Education* 53(3), pp. 405–412, 2010.
- [5] J.V. Benlloch-Dualde, F. Buendía, J.C. Cano. On the Design of Interactive Classroom Environments based on the Tablet PC Technology. 40th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference-Celebrating 40 Years of Innovation, 2010.
- [6] L.de la Fuente-Valentín, A. Pardo, C.Delgado Kloos. Addressing drop-out and sustained effort issues with large practical groups using an automated delivery and assessment system. *Computers & Education* 61, pp. 33–42, 2013.
- [7] F. J. García, M. N. Moreno. Software Modeling Teaching in a First Software Engineering Course. A Workshop-Based Approach. *IEEE Transactions on Education*, 47(2), 180-187, 2004

- [8] D.J. Nicol, D. Macfarlane-Dick. Formative Assessment and Self-Regulated Learning: a model and seven principles of good feedback practice. *Studies in Higher Education* 31(2), pp 199-218, 2006.
- [9] V.J. Shute. Focus on Formative Feedback, Educational Testing Service. March 2007. ETS Research Report, RR-07-11, pp. 1-47, Princeton, NJ.
- [10] Grado de Ingeniería Informática. Plan de estudios E.T.S. Ingeniería Informática, página oficial: <http://gradoinf.webs.upv.es>.
- [11] IEEE Standard for Learning Object Metadata. IEEE Standard 1484.12.1, Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, 2002. (draft) URL last accessed on 2007-04.
- [12] T. de Jong et al. Learning by creating and exchanging objects: the SCY experience. *British Journal of Educational Technology* 41(6), pp 909-921, 2010.
- [13] C. L. Abad. Learning Through Creating Learning Objects, ITiCSE 2008 Madrid, Spain.
- [14] G. H. Redeke. An Educational Taxonomy for Learning Objects, IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2003), página 250, 2003.
- [15] V. N. Convertini, D. Albanese, A. Marengo, V. Marengo, M. Scalera. The OSEL Taxonomy For The Classification of Learning Objects. *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects* 2, pp 125-138, 2006.
- [16] D. A. Wiley. Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy. The Instructional Use of Learning Objects: Online Version. 2000. <http://reusability.org/read/chapters/wiley.doc>, accedido en 2007.
- [17] C. E. Hmelo-Silver. Problem Based Learning: What and How Do Students Learn? *Educational Psychology Review* 16(3), pp. 235-266, 2004.
- [18] B. J. Duch, S. E. Crahan, D. E. Allen. *The Power of Problem-Based Learning: A Practical How To for Teaching Undergraduate Courses in any Discipline*. (1st ed.) Sterling, VA: Stylus Pub 2001.
- [19] E. Montero, M.J. González. Student Engagement in a Structured PBA to Learning: A first-year electronic engineering study module on heat transfer. *IEEE T. of Education* 52(2), 2009.
- [20] C. E. Hmelo-Silver, R. G. Duncan, C. A. Chinn. Scaffolding and Achievement in Problem Based and Inquiry Learning: A Responce to Kirschner, Sweller and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), pp.99-107, 2007.
- [21] K.L. Krause, R. Hartley, R. James and C. McInnis. *The First Year Experience in Australian Universities: Findings from a Decade of National Studies*. Final report, Enero 2005.



**S. Blanc.** She was born in Valencia (Spain). She earned a MSc. in Computer Engineering from Universitat Politècnica de València in 1998 and a PhD in Computer Architecture and Technology from the same university in 2004. She is Lecturer at the Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática (Computer Engineering) in the Universidad Politècnica de Valencia since 2001 in Computer Technology, Computer Basic Science and Microcontrollers and Reconfigurable Systems. Research interests are in the field of Fault Tolerance and Embedded Systems, with special current interest in Underwater Communications.



**J.V. Benlloch-Dualde (M'09).** This author became a member (M) of IEEE in 2009. He was born in Valencia (Spain) in 1962. He earned a MSc. in Physics from Universitat de València in 1986.

Currently, he is Senior Lecturer with tenure at the Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática (Computer Engineering) in the Universitat Politècnica de València, where teaches a course in Computer Technology and several elective courses about Multimedia Systems in the same center. His research interests relate to technology-enhanced learning and pen-based technologies. He earned a HP Technology for Teaching Grant Initiative, Transforming Teaching and Learning through Technology in 2008.

# Feedback Efectivo en Prácticas de Programación

Juan M. Alberola and Ana García-Fornes

**Title— Effective Feedback in Coding Practices.**

**Abstract—** Las asignaturas de carácter práctico como la programación, presentan históricamente un alto índice de abandonos y unas tasas de aprobados bajas. Una característica de estas asignaturas es que el material que se aprende, necesita ser afianzado para aprender nuevos conceptos, por lo tanto, un feedback progresivo y continuo es esencial para la motivación de los alumnos. En este artículo, presentamos una experiencia docente que obtiene dicho feedback mediante el uso de la plataforma educativa. El impacto a diferentes niveles de esta experiencia es analizado en un grupo de alumnos.

**Index Terms—** Feedback, educative platform, coding, participatory lecture.

## I. INTRODUCCIÓN

Al largo de la literatura podemos encontrar una opinión consensuada sobre los beneficios del feedback como herramienta docente. El feedback proporciona una información rápida al alumno con la finalidad de corregir errores al poco tiempo de haber realizado una tarea. Diversos autores como Hounsell han demostrado las implicaciones del feedback en el proceso de aprendizaje de los alumnos [1], incluso en varios estudios se concluye que el principal factor influyente en la consecución del aprendizaje por parte del estudiante es el feedback [2, 3]. Además, existen estudios donde se ven los efectos positivos del feedback comparados con otros factores del aprendizaje [4].

El feedback puede definirse como un mecanismo de corrección de errores o conocimiento de los resultados en relación con el aprendizaje [5], lo que permite una evaluación continua del alumno. Sin embargo, una evaluación continua no implica tener que realizar varios exámenes en vez de uno sólo, sino llevar un seguimiento lo más frecuente posible del grado de adquisición de competencias por parte de los alumnos, y esto no implica necesariamente asociar siempre una calificación. Por tanto, para que el feedback resulte efectivo, éste debe plantearse como un proceso regular y centrado en contenidos pequeños del curso, otorgando a los alumnos la posibilidad de demostrar qué han aprendido y qué les queda por aprender [6, 7]. De lo contrario, si el alumno se mueve a contenido

nuevo sin haber obtenido el feedback, éste puede resultar ineficaz.

Entre los muchos factores positivos que tiene el feedback [8] podemos destacar los siguientes: reactiva y consolida las habilidades anteriores antes de introducir material nuevo; refuerza los mecanismos de aprendizaje activo; ayuda a los alumnos y al profesor a monitorizar el proceso de aprendizaje; y motiva a los alumnos debido a que sienten que progresan.

Sin embargo, un feedback efectivo en entornos universitarios es clásicamente difícil de conseguir debido a la cantidad de alumnos y a la densidad de las materias [6]. Más concretamente, en asignaturas de carácter práctico, como las relacionadas con programación, que se imparten diversas titulaciones tecnológicas, este feedback puede resultar incluso más complicado. En este tipo de asignaturas no puede hacerse un feedback oral basado en un ensayo, como se realiza en otras disciplinas, por lo que se requiere de un mayor tiempo del profesor para ver las tareas realizadas por el alumno, y un mayor tiempo para el alumno, para asimilar los conceptos en los que haya podido fallar. Además, en este tipo de asignaturas, las prácticas tienen una importancia crucial puesto que sirven a los alumnos para asimilar los conceptos vistos en clases teóricas [9, 10].

Para conseguir un feedback más individual y efectivo en este tipo de asignaturas, se debería supervisar continuamente el trabajo de los alumnos. Sin embargo, debido a la cantidad de alumnos y a las horas presenciales dedicadas, los alumnos tienen que realizar trabajo autónomo, concertando posteriormente tutorías personalizadas, con el consiguiente problema espacio/temporal asociado.

En este trabajo presentamos una experiencia docente en donde utilizamos la plataforma educativa como herramienta telemática para obtener dicho feedback. Nosotros optamos por utilizar un feedback que consiste en realizar comentarios a las tareas realizadas por los alumnos, orientándoles en cómo lo podrían solucionar o hacer de otra forma, etc., sin calificar su trabajo. Otro tipo de feedback calificativo podría desmotivar a los alumnos que peor lo hagan y afectarles negativamente [11]. En nuestra propuesta, el alumno recibe la misma información como si estuviera el profesor delante, permitiendo intercambio asíncrono de mensajes aclaratorios. De esta manera, el alumno puede realizar o subir las tareas realizadas en cualquier momento, a partir de finalizar la sesión, y el profesor puede corregirlo en cualquier momento también.

El resto del artículo está organizado en las siguientes secciones: en la Sección 2 describimos trabajos relevantes relacionados con nuestra propuesta; en la Sección 3 detallamos la motivación que nos lleva a desarrollar nuestra propuesta; en la Sección 4 explicamos los dos componentes

Juan M. Alberola y Ana G. Fornes pertenecen al Departament de Sistemes Informàtics i Computació, Universitat Politècnica de València. Camí de Vera s/n. 46022. Valencia. Spain. (email: {jalberola,agarcia}@dsic.upv.es).

de la misma; en la Sección 5 detallamos el caso de estudio donde hemos aplicado nuestra propuesta; en la Sección 6 mostramos y analizamos los resultados obtenidos; finalmente, en la Sección 7 añadimos algunas conclusiones a nuestro trabajo.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

En los últimos años han aparecido diferentes propuestas para ofrecer un feedback más continuado al alumno en asignaturas de tipo práctico como las relacionadas con programación. Diversos trabajos como [12, 13] presentan métodos de feedback basados en dispositivos tecnológicos y que están centrados en la misma sesión. Estos trabajos reflejan la dificultad de tener un seguimiento personalizado en este tipo de asignaturas, ya que las prácticas están enfocadas en programar lo visto en teoría y eso hace que salten infinidad de dudas que no pueden solucionarse individual y detalladamente en dos horas que dura la sesión. En una línea similar, [14] presentan un sistema de encuestas electrónicas mediante una Tablet-PC. Este sistema electrónico permite una gran participación de los alumnos con preguntas predefinidas para obtener un feedback rápido. Sin embargo, estas propuestas, aparte de requerir mayores recursos (terminales electrónicos para cada alumno), están basadas en preguntas cortas que los alumnos deben contestar durante la lección magistral. Esto ayuda al profesor a tener un conocimiento más global de cómo avanza la sesión, pero no le da información individual del proceso de aprendizaje de cada alumno durante el curso.

Otras propuestas como [15, 16, 17], obtienen un feedback mediante sistemas automáticos de evaluación telemática. Sin embargo, las evaluaciones de los ejercicios de los alumnos se realizan en base a criterios como diseño, especificación, estilo, etc., por lo que tanto la información recibida por el profesor como el feedback recibido por el alumno es muy impersonal, con información como "código no bien sangrado" o "demasiados comentarios". Esto puede ser bueno para mejorar las habilidades de programación, pero no para asignaturas básicas de programación, donde deben sentarse los cimientos de la disciplina. Por esto, aspectos más individuales como fallos en el código, confusión a la hora de plantear, mala utilización de variables, dificultad para depurar un programa y encontrar errores, incluso errores globales recurrentes, no podrían solucionarse con este tipo de evaluación automática.

Relacionado con los sistemas de evaluación automática, una atención más personalizada podría conseguirse con la propuesta de [18], en donde se introduce el concepto de ciclos con el objetivo de evitar que el alumno obtenga la solución mediante prueba y error. Sin embargo, los ejemplos que se analizan en la propuesta se basan en algoritmos simples (ordenación, intercambio de variables, sumar vectores, etc.), por lo que sería complicado analizar todas las posibilidades de algoritmos más complejos, lo que requeriría una supervisión del profesor.

En [19], los autores proponen una herramienta software para ayudar a los alumnos a adquirir las competencias básicas para programar. La herramienta trata de guiar al alumno en las soluciones que va implementando para un problema concreto, como si se tratara de un profesor. Los autores remarcan la importancia de la práctica en este tipo

de asignaturas y la necesidad de recibir un feedback rápido y continuo para el aprendizaje. Sin embargo, los programas ofrecidos por esta herramienta son limitados, ya que añadir un nuevo programa implica el esfuerzo de especificarlo en xml.

Otra forma de recibir feedback en este tipo de asignaturas es a través de sus compañeros. Por ejemplo, en [20], se propone un aprendizaje cooperativo en donde distintos grupos-base se reúnen antes de cada sesión para resolver sus dudas. Aunque esta técnica puede funcionar bien en ciertos escenarios, hay que tener en cuenta los propios problemas de creación de grupos (mantener un mismo nivel, alumnos que trabajan más que otros, quejas, etc.). Los mismos autores remarcan estos problemas, como la posibilidad de que un grupo se estanque en el progreso si observa que no avanza lo suficiente.

Relacionado con este aspecto, en [21], los autores también proponen un sistema de aprendizaje cooperativo y evaluación continua para aprender a programar en C. En este sistema, los alumnos son calificados a lo largo de las sesiones. Sin embargo, una crítica que refleja este trabajo es que los alumnos perciben mucha carga de trabajo (casi el 50%). Un problema similar refleja el trabajo de [22], en la cuál se utilizaron técnicas cooperativas para el aprendizaje de la programación. Sin embargo, tal y como detallan los autores, algunos alumnos abandonaron el proyecto por problemas con los compañeros del grupo como la falta de comunicación.

Por lo tanto, un entorno flexible en donde se les ofrezca la posibilidad a los alumnos de obtener un feedback supervisado por el profesor, sin la necesidad de ser calificados, facilitará que cada alumno elija la opción que mejor se ajuste a su modelo de aprendizaje. Además, el hecho de no sentirse calificados constantemente, posibilita la apreciación de un trabajo más ligero y menos presión.

## III. MOTIVACIÓN

En asignaturas con carácter práctico como programación, donde las competencias o parte de ellas, son adquiridas mediante la práctica del alumno en los laboratorios, resulta esencial que éste obtenga un aprendizaje continuo y efectivo. El contenido en este tipo de asignaturas suele estar interrelacionado, de modo que para afianzar contenidos nuevos, es imprescindible afianzar los conocimientos previos. El feedback es fundamental para conseguir esto, sin embargo, tradicionalmente este feedback se ha limitado a la interacción personal alumno-profesor durante cada sesión de prácticas.

Esta metodología clásica ha tenido como resultado unas altas tasas de abandono en asignaturas de programación, así como un bajo porcentaje de aprobados, como se puede ver en la Tabla I, que muestra los resultados de la asignatura de programación que se imparte en la titulación de Química de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universitat Politècnica de València. Como podemos ver, las tasas de aprobados en los últimos años rondan el 30% de los alumnos y las tasas de abandono que rondan el 40% de los alumnos.

Con el fin de disminuir la tasa de alumnos que abandonan la asignatura y de incrementar la tasa de aprobados, la experiencia docente presentada en este artículo está

TABLA I  
PORCENTAJES DE ALUMNOS DISTRIBUIDOS SEGÚN NOTAS

	No Presentados	Suspendidos	Aprobados
2005-2006	40,18%	34,82%	25,00%
2006-2007	45,00%	26,67%	28,33%
2007-2008	41,67%	34,17%	24,17%
2008-2009	38,46%	38,46%	23,08%
2009-2010	27,78%	40,48%	31,75%

enfocada en ofrecer un aprendizaje más efectivo. Para ello proponemos el uso de la plataforma educativa como herramienta telemática para la interacción alumno-profesor en horarios no presenciales. Esta herramienta se usará como soporte para que el alumno obtenga un feedback adecuado y continuado de su trabajo durante las sesiones prácticas. Además, cambiaremos la clásica metodología utilizada en las sesiones prácticas para incluir una lección magistral participativa, con el fin de fomentar la motivación de los alumnos.

#### IV. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA DOCENTE

En la asignatura de programación, tradicionalmente se ha optado por dos modelos claramente diferenciados en la teoría y en la práctica. En las sesiones teóricas se ha optado por lecciones magistrales con mayor o menor grado de participación, mientras que en las sesiones prácticas, se ha optado por un modelo completamente autónomo en donde se asumía que el alumno tenía los suficientes conocimientos (adquiridos en las sesiones teóricas) como para abordar las prácticas.

Con la metodología clásica empleada en prácticas, se asume que las dudas que puede tener un alumno son puntuales, como detalles de implementación. Sin embargo, esta suposición hace que muchos alumnos no se sientan motivados por asistir a las clases prácticas porque son incapaces de seguir, por ellos mismos, los pasos que se requieren para resolver un problema y obtener el feedback necesario para su aprendizaje: entender qué es lo que se pide, plantear una solución, implementar esa solución en un lenguaje de programación de alto nivel, etc. Además, como los contenidos de esta asignatura necesitan afianzarse para adquirir contenidos futuros, esta desmotivación hace que muchos alumnos abandonen la asignatura.

La experiencia docente aplicada a la asignatura consta de dos innovaciones, una con carácter presencial y otra con carácter no presencial. Por un lado, la inclusión de una lección magistral participativa en el inicio de cada sesión de prácticas. Por otro lado, la utilización de la plataforma educativa como medio de feedback para el alumno.

##### A. Lección Magistral Participativa

La lección magistral ha sido tradicionalmente el método docente más utilizado en la enseñanza universitaria [23]. Sin embargo, en los últimos años, la clásica lección magistral ha derivado en modelos más participativos con el fin de fomentar el aprendizaje significativo del alumno. Según Finkel [24], muchas de las actividades que caracterizan a una buena docencia difieren marcadamente de una narración tradicional del profesor.

Mediante la inclusión de la lección magistral participativa en las sesiones prácticas, el profesor relacionará conceptos

vistos en clases teóricas con las necesidades de los problemas que tienen que resolver los alumnos en las sesiones prácticas. Así, mediante la participación de los alumnos, se pretende que se cree un clima de compañerismo y que aquellos alumnos que no terminaron de asimilar los conceptos de teoría, sean capaces de abordar los problemas que se plantean en la sesión de prácticas después de la lección magistral participativa. Las principales características que deberá tener esta lección magistral participativa deberán ser las siguientes:

- Fomentar la participación cooperativa de todos los alumnos mediante preguntas al grupo o individuales, dando oportunidades a los alumnos para que intervengan.

- Bien estructurada. La inclusión de una lección magistral en las sesiones de prácticas ayuda al alumno a reforzar los conocimientos adquiridos en teoría. No obstante, si su duración se extiende considerablemente, los alumnos no tendrán tiempo suficiente para terminar los problemas que deberían abordar en la sesión.

- Uso de encuadres para que quede claro en todo momento, qué es lo que queremos resolver, cómo lo hemos hecho, y que sería lo que nos falta por hacer.

- Motivadora, para que los alumnos puedan seguir resolviendo problemas por ellos mismos durante el resto de la sesión de prácticas.

- Otras características como controlar la velocidad de explicación, no dar excesiva información, y relacionar los temas serán también importantes.

Dividiremos cada sesión de prácticas en dos partes. Una primera donde se plantee, diseñe e implemente un problema similar a los que aparecen en las prácticas, mediante la participación de toda la clase. Así, los alumnos podrán ellos mismos, implementar la solución que globalmente vamos obteniendo. Además, se fomentará la cooperación de todos, creando un debate grupal y haciéndonos preguntas entre todos los participantes. Aquellos alumnos que se puedan ver menos incapaces para abordar la práctica por ellos mismos, se sentirán parte también de la discusión grupal, lo que esperamos fomente su motivación por la asignatura. En la segunda parte, seguiremos manteniendo el modelo autónomo tradicional, con el fin que sean capaces de terminar los problemas de la práctica, siendo similares a lo que hemos visto en la anterior hora.

##### B. La Plataforma Educativa

Las prácticas propuestas en la asignatura están pensadas para que el alumno pueda terminar en casa las tareas que ha empezado en la sesión, acudiendo a posibles tutorías para resolver dudas. Sin embargo, esta última parte no la cumple prácticamente ningún alumno. Uno de los principales motivos es que, el hecho de terminar cada práctica no supone un reconocimiento ni evaluativo ni calificativo por parte del profesor, por tanto, el alumno no tiene ninguna motivación adicional. De esta manera, es complicado que cada alumno obtenga un feedback efectivo sólo con las sesiones presenciales, debido al poco tiempo para revisar los ejercicios que van realizando los alumnos junto con la cantidad de alumnos en cada grupo.

TABLA II  
PORCENTAJES DE APROBADOS

	1º parcial	2º parcial	3º parcial
<b>A1</b>	48,00%	32,00%	48,00%
<b>A2</b>	56,00%	60,00%	68,00%
<b>B1</b>	33,33%	18,52%	25,93%
<b>B2</b>	40,74%	18,52%	33,33%
<b>V1</b>	52,38%	28,57%	23,81%

Con el fin de mejorar este aspecto, utilizaremos la plataforma educativa como medio de interacción no presencial entre alumno y profesor. La plataforma educativa es una herramienta telemática orientada a facilitar la interacción alumno-profesor. Esta plataforma ofrece una funcionalidad que permite la gestión de actividades. Mediante el uso de esta última funcionalidad, los alumnos podrán subir a la plataforma los ejercicios correspondientes a la práctica que se ha realizado. De esta manera, el profesor podrá interactuar con cada alumno mediante mensajes, para hacer comentarios sobre la tarea, manteniendo una interacción asíncrona alumno-profesor. En la Figura 1 podemos ver un fragmento de una actividad subida a la plataforma. En este caso vemos los comentarios del profesor sobre la ventana de edición, aunque el alumno podría subir su archivo y el profesor también podría devolverle los comentarios en otro fichero adjunto. Aunque para nuestros intereses esta es la funcionalidad deseada, existen otras posibilidades que podríamos explotar, como la posibilidad de interactuar varios profesores o alumnos sobre la misma actividad, o la posibilidad de calificar la tarea y solicitar más reenvíos incluso para poder acceder a posteriores tareas. Este modelo tiene varias ventajas a priori, que describimos a continuación:

- La herramienta telemática permite una gran flexibilidad a los alumnos para enviar su trabajo en cualquier momento, y al profesor para corregirlos.
- Los alumnos tienen una forma de recibir un feedback efectivo y continuo de cada práctica realizada, de manera no presencial.

- Se motiva a los alumnos a realizar y completar las prácticas sin tener que acudir personalmente a tutorías a resolver dudas.
- Con este modelo, se hace más efectiva la evaluación continua, donde el alumno tiene más oportunidades de ser evaluado antes de la prueba calificativa.

Sin embargo, pueden existir una serie de puntos que habría que plantearse antes de empezar esta experiencia docente. Por un lado, los alumnos en general son reticentes a hacer trabajo que no tiene asociada una calificación. Debemos asumir que puede haber una parte de los alumnos que no esté implicada en realizar las prácticas y recibir el feedback si estas tareas no tienen una calificación asociada. Este punto es importante para tratar de motivarles, sobre todo en las primeras sesiones.

Por otro lado, los alumnos pueden tender a copiarse trabajos si se ven en la necesidad de entregar. Aunque se deje claro que no hay ninguna calificación y que se pretende corregir los fallos antes de llegar a las pruebas calificativas, muchos de ellos pueden optar por copiarse la práctica para cumplir con el objetivo de entrega. Sin embargo, este perfil de alumno llegaría igual de mal preparado a la prueba final ya que no se limitaría ni a copiar las prácticas de cada sesión.

También hay que tener en cuenta la carga de trabajo que implica ofrecer un feedback efectivo. Este es un punto clave para la correcta implantación de esta experiencia, necesitando estimar cuál será el tiempo de dedicación por parte del profesor. Ofrecer el feedback no se basa sólo en que los alumnos vean los errores que han cometido en los ejercicios, sino en entender la explicación que el profesor hace a ese error.

Por ello, corregir más de 20 prácticas semanales con detalle y con los comentarios adecuados, puede resultar una carga excesiva. En este punto se deberá llegar a un compromiso entre tiempo invertido y grado con el que se aplica la experiencia. Para ello, seleccionaremos en cada sesión unos cuantos alumnos para entreguen sus tareas, pudiendo entregar tan sólo parte representativa de la práctica. Evidentemente, aquellos alumnos que durante la sesión se les vea que lo han hecho ya bien, no serán solicitados. Esto

```

int obtener_sanciones() {
    int dia,mes,ano,dia2,mes2,ano2,dias,dias2; /*Variable no usadas*/
    int diafe,mesfe,anyofe,meses,anyos,anyo,id,diastotales;
    FILE*F1;
    printf("introduce la fecha:\n");
    scanf("%d%d%d",&dia2,&mes2,&ano2); /*Valor de las variables no usado*/
    F1=fopen("W:\\prestamos.txt","r");
    if(F1==NULL){
        printf("Error al abrir el archivo");
        return -1;
    }

    /*El while es incorrecto, deberías usar las variables dia2, mes2 y ano2
    que son las que has leído por teclado*/
    while(fscanf(F1,"%d%d%d",&id,&dia,&mes,&ano)!=EOF){
        dias=dia-diafe; /*Variables no inicializadas*/
        meses=(mes-mesfe)*30;
        anyos=(anyo-anyofe)*365; /*Debes usar ano, que es la que has leído con fscanf*/
        diastotales=dias+meses+anyos;
        if(dia2>0)
            printf("el libro %d ha sido devuelto hace %d dias\n",id, -diastotales);
    }

    fclose(F1);
    return 0;}

```

Fig. 1. Fragmento de una actividad.

facilitará la labor de corrección. También daremos posibilidad a que alumnos no seleccionados entreguen voluntariamente sus tareas. Según vayamos teniendo más información acerca del aprendizaje de los alumnos, se empezará a solicitar prácticas a aquellos que se les vea más flojos, tanto en clase como en sus entregas.

Finalmente, el último punto importante es referente a la implicación de los alumnos, y que éstos valoren realmente para qué se está siguiendo esta metodología. Es importante que vean que lo que se les pide es para que se obliguen a hacer las prácticas y para que revisen los comentarios que se les haga. Ellos deben ser responsables de leer los comentarios y tenerlos en cuenta, así como ser responsables de entregar lo que ellos hacen, y no limitarse a copiar o a no hacerlo. Si son responsables en este punto, esto debería evitar que los alumnos repitieran en la prueba calificativa los mismos errores que ya han sido corregidos mediante el feedback. Si observamos que varios alumnos cometen un error similar, éste será comentado en clase para todos los alumnos, asumiendo que ha sido un concepto que no se ha entendido generalmente.

#### V. CASO DE ESTUDIO

La experiencia educativa se ha llevado a cabo en la titulación de Química, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Valencia, curso 2010-2011. En la titulación de Química, la asignatura de programación está dividida en 3 grupos de teoría, los cuales a su vez, se han subdividido en 2 grupos de prácticas. Estos grupos los identificaremos como A1, A2, B1, B2, V1 y V2, donde la primera letra indica el grupo de teoría y la segunda letra indica el grupo de prácticas en los cuales se ha subdividido. Con el fin de comprobar su aceptación y su efectividad, la experiencia ha sido introducida en el grupo A2. En la asignatura se han realizado tres exámenes parciales durante todo el semestre: dos de teoría (primer y tercer parcial) y uno de prácticas (segundo parcial). Los parciales han sido los mismos para todos los alumnos. El primer y el tercer parcial han sido corregidos por el profesor de teoría, mientras que el segundo parcial ha sido corregido por el correspondiente profesor de prácticas. La nota final NF de cada alumno seguía la siguiente fórmula:

$$NF=(\text{Parcial1} * 0,3)+(\text{Parcial2} * 0,3)+(\text{Parcial3} * 0,4)$$

El número de alumnos de los grupos A1 y A2 es de 25 cada uno, el de los grupos B1 y B2 es de 27 cada uno, mientras que el de los grupos V1 y V2 es de 22 cada uno.

#### VI. RESULTADOS

En esta sección vamos a analizar el impacto de la experiencia en diferentes ámbitos de la asignatura. Tal y como describimos en la Sección 3, los dos principales objetivos que se quieren conseguir es aumentar la tasa de alumnos aprobados, y disminuir la tasa de alumnos que abandonan la asignatura. Para ello, analizaremos de forma conjunta e independiente el impacto de la experiencia aplicada.

#### A. Resultados Generales

En primer lugar, analizamos los resultados generales referentes a todos los alumnos del curso. Para ello, a continuación mostramos diferentes gráficas que analizan el impacto de la experiencia docente en los resultados obtenidos en el grupo A2, en comparación con el resto de los grupos.

En la Tabla II, podemos ver cómo ha evolucionado el porcentaje de alumnos aprobados en cada uno de los grupos. En la tabla se aprecian claras diferencias entre los resultados obtenidos en los seis grupos. Se puede observar que el grupo A2 no sólo fue el grupo que mayor número de aprobados obtuvo sino que además, siempre se mantuvo este porcentaje por encima del 50%, mientras que en el resto de los grupos prácticamente siempre hubo más suspendidos que aprobados. Esto es significativo ya que los resultados se repiten en los tres parciales realizados. Además, podemos ver que la evolución de alumnos aprobados siempre es creciente según avanzan los parciales. En cambio, la tónica general del resto de los grupos es que el número de aprobados tiende a disminuir según avanza el curso. Este comportamiento indica que por lo general, los alumnos tienden a desmotivarse por la asignatura, mientras que en el grupo A2 en particular, parece que esto no ocurra.

Con el fin de comparar las notas de los diferentes grupos, en la Figura 2 podemos observar en el eje “y”, la nota media de cada grupo para cada uno de los parciales y para el examen final. Podemos ver que el grupo A2 es el que tiene una nota media más alta para cada uno de los parciales y también como nota final. La nota media final de todos los grupos se sitúa entre el 3 y el 4. En cambio, la nota media final del grupo A2 supera el 5, más de un punto de diferencia.

El hecho de que el grupo A2 supere a todos los grupos en la nota media en todos los parciales, puede ser un indicativo de que este grupo está llevando la asignatura más al día, y que los alumnos están afianzando los conceptos mejor que otros grupos, y por ello se sienten motivados. De hecho, los grupos A1 y A2 asisten a las mismas sesiones de teoría y han sido corregidos los parciales primero y tercero por el mismo profesor. Sin embargo, el grupo A1 presenta unas notas medias que rondan el 5 y el 6 para el primer y tercer parcial respectivamente, mientras que el grupo A2 presenta unas notas que rondan el 6 y el 7, casi un punto de diferencia entre alumnos que han asistido a las mismas sesiones de teoría. En cambio en otros grupos, las diferencias entre los alumnos que han asistido a las mismas sesiones de teoría no son tan grandes. Así, tanto en el grupo B1 como en el grupo B2, las notas medias del primer y tercer parcial rondan el 4,5 y 5,5 respectivamente. De la misma manera, las notas medias de los grupos V1 y V2 rondan el 5 para el primer parcial, y el 5,5 para el tercer parcial. Estas comparaciones también son extensibles a las notas finales.

El otro aspecto importante que queremos analizar es la evolución del abandono de la asignatura según avanza la asignatura. En la Tabla III mostramos el porcentaje de alumnos no presentados para cada grupo y parcial. Podemos ver que en todos los grupos se incrementa considerablemente la cantidad de alumnos que no se presentan según avanzan los parciales. Por ejemplo, en el

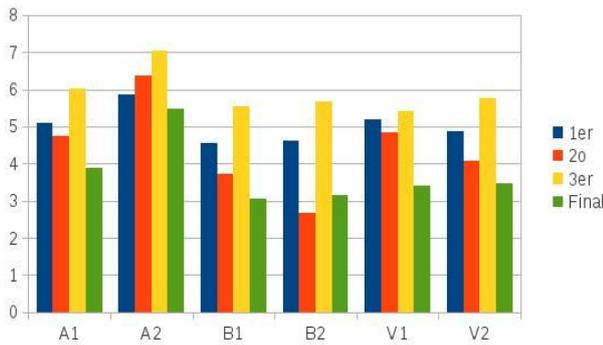


Fig. 2. Notas medias según grupos.

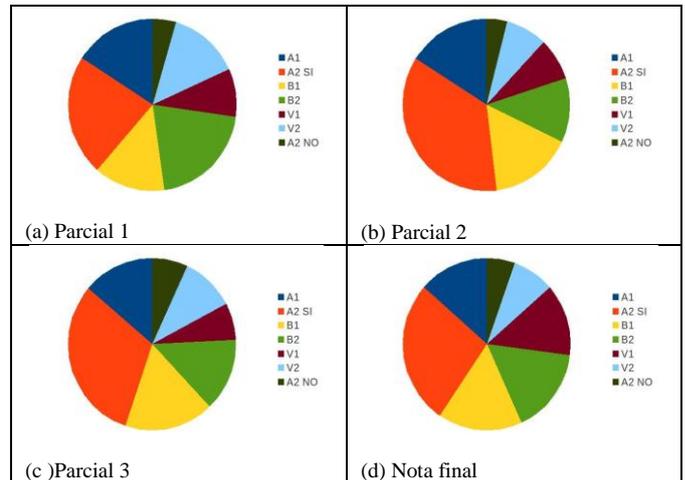


Fig. 3. Porcentaje de alumnos con nota >=7.

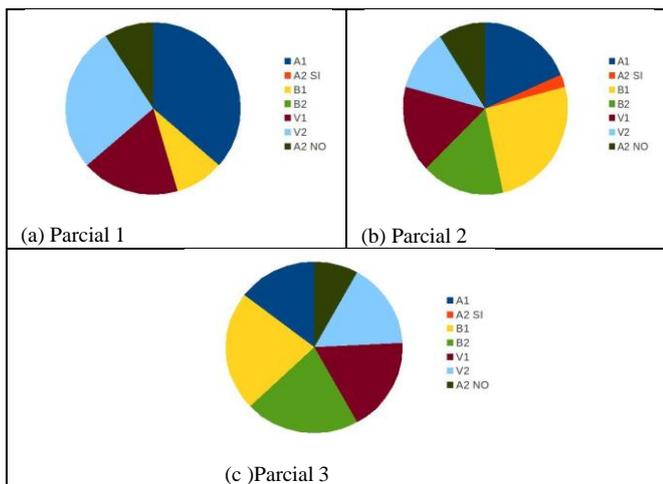


Fig. 3. Porcentaje de alumnos no presentados.

grupo B2 se pasa de una tasa del 0,00% de alumnos no presentados al primer parcial, a una tasa de casi el 50,00% cuando llega el tercer parcial. Sin embargo para el grupo A2, el incremento de alumnos que abandonan la asignatura no aumenta tanto como los otros grupos, llegando sólo hasta un 20,00% de los alumnos, mientras que otros grupos rondan el doble.

Con el fin de evaluar el impacto del feedback recibido con la plataforma educativa, en las siguientes figuras hemos subdividido el grupo A2 en dos grupos más: los alumnos que recibieron feedback porque entregaron las prácticas cuando se les solicitó o voluntariamente (A2 SI), y los alumnos que no lo recibieron porque no entregaron las prácticas (A2 NO). Hay que comentar que 19 de los alumnos del grupo A2 recibieron feedback, mientras que 6 de ellos no lo recibieron.

En la Figura 3 podemos ver qué porcentaje de los alumnos que han sacado una nota superior a notable corresponde a cada grupo. En esta figura se aprecia claramente que la mayoría de los alumnos con una nota

superior a notable corresponden no sólo a alumnos del grupo A2, sino a alumnos que se comprometieron con la experiencia y que recibieron este feedback. Podemos observar que, aunque en el primer parcial no hay tanta diferencia con otros grupos (B2), estas diferencias se hacen más grandes según avanza la asignatura. Esto indica que la metodología va teniendo efecto progresivamente en los alumnos, y que el feedback resulta efectivo, sobre todo a medio/largo plazo.

En la Figura 4 podemos ver el porcentaje de alumnos que no se presentaron a los parciales distribuidos por grupos. Como se puede observar, el grupo de gente que participó en el feedback se presentó casi por completo a las tres pruebas. En cambio, en los otros grupos hay más gente que tendió a no presentarse. El impacto de la lección magistral participativa también puede observarse con el hecho de los pocos alumnos que han abandonado la asignatura en el grupo A2 por completo, tanto los que han recibido feedback como los que no. El impacto de la metodología también es evidente comparando los resultados con el resto de grupos.

*B. Impacto del Feedback*

En esta sección analizaremos el impacto del feedback en el grupo A2. Para ello, analizamos los distintos alumnos que han participado en la experiencia, y agrupamos los errores más comunes que han cometido a lo largo de las prácticas. El objetivo de este análisis es comprobar si los alumnos han tenido una evolución o si por el contrario, los errores típicos se han repetido a lo largo del curso.

Definimos tres tipos generales de errores posibles. Por una lado, los errores de compilación aparecen cuando se construye código incorrectamente que impide compilar el programa. Estos errores son debidos a errores de sintaxis como la escritura errónea de palabras clave, instrucciones mal expresadas, conflicto de tipos de datos o también a errores de puntuación. Por otro lado tenemos errores de ejecución, que permiten compilar el programa pero que realizan operaciones erróneas como división por cero o malas asignaciones de variables. Finalmente, tenemos los errores lógicos, que son los más difíciles de detectar. Estos errores aparecen cuando el programa compila bien y aparentemente se ejecuta sin problemas, pero no realiza las acciones que debería. Esto puede deberse a un error en una operación matemática, un error al asignar una variable, un error al imprimir el resultado correcto, etc. Existen otro tipo

TABLA III  
PORCENTAJES DE NO PRESENTADOS

	1º parcial	2º parcial	3º parcial
<b>A1</b>	48,00%	32,00%	48,00%
<b>A2</b>	56,00%	60,00%	68,00%
<b>B1</b>	33,33%	18,52%	25,93%
<b>B2</b>	40,74%	18,52%	33,33%
<b>V1</b>	52,38%	28,57%	23,81%

de errores que no impiden que el programa funcione bien pero que deberían tenerse en cuenta (como variables no usadas o ficheros no cerrados). Estos errores también se les comentan a los alumnos pero no los clasificamos en este análisis.

En la Tabla IV podemos ver una clasificación del número de ejercicios entregados según los errores para cada una de las 11 prácticas. Cabe destacar que si un mismo ejercicio presentaba más de un error del mismo tipo, se contabilizaba como un único error. Aunque el nivel de las prácticas ha ido aumentando progresivamente, se puede observar que la tendencia de los ejercicios entregados ha sido cada vez hacia un mayor número de ejercicios sin errores. Sin embargo, lo más destacable es cómo han evolucionado los distintos tipos de errores, lo que representa el grado de aprendizaje de los alumnos. Esta evolución va desde un mayor número de errores de compilación en las primeras prácticas, hacia un mayor número de errores de ejecución y lógicos en las últimas prácticas. Esto significa que los alumnos fueron aprendiendo de sus errores hasta construir programas sintácticamente correctos. Más tarde, aprendieron de los errores de ejecución y lógicos para construir programas correctos. Precisamente, una de las características del feedback es que los alumnos eviten repetir los mismos errores, por lo que podemos concluir que los comentarios que se iban haciendo de los errores que se cometían, tenían un efecto positivo para que los alumnos no los cometieran en prácticas posteriores. Muestra de ello es que en las últimas prácticas, el porcentaje de ejercicios sin errores era grande.

### C. Aceptación de los Alumnos

Una vez analizado empíricamente el impacto de la aplicación de la lección magistral participativa y del feedback, vamos a analizar cómo fue la aceptación de los alumnos. Para ello, se les entregó un cuestionario con preguntas valorativas y también con preguntas abiertas. Este cuestionario fue entregado en la última sesión de prácticas, con la finalidad que pudieran responder lo más verazmente posible. De entre las preguntas que se les hizo, a continuación destacaremos algunos resultados relevantes.

En primer lugar, a la pregunta “prefiero que el profesor explique primero en la pizarra y luego nos deje hacer ejercicios”, casi un 90% de los alumnos calificó su respuesta como un 4 en la escala del 1 al 4 (siendo 1 totalmente en desacuerdo y 4 totalmente de acuerdo), lo que corresponde a una valoración media de 3,77 +/- 0,35 con un intervalo de confianza del 95%. En cambio, a la pregunta de “me gustaría que el profesor no hiciese ejercicios inicialmente y así tener más tiempo para realizar los ejercicios individualmente”, casi un 90% lo calificó con un 1, con una valoración media de 1,12 +/- 0,29 con un intervalo de confianza del 95%. Con estas diferencias, se puede observar que el grupo ha aceptado con gran satisfacción el uso de una lección magistral participativa. De entre los factores más importantes que han recibido de la lección magistral, podemos destacar la ayuda que les supone, (con una valoración de 8,95 +/- 0,65 sobre 10) y la motivación (con una valoración de 8,59 +/- 0,90 sobre 10).

Los resultados referentes a la valoración del feedback son similares. En primer lugar, a las preguntas “prefiero no tener

TABLA IV  
CANTIDAD DE EJERCICIOS CON ERRORES

	Número de ejercicios			Sin errores
	Con errores			
Práctica	Compilación	Ejecución	Lógicos	
1	8	1		3
2	5	4	1	2
3	6	1	2	4
4	2		4	3
5	3	1	1	5
6		2	3	7
7	2	4	4	3
8		2	3	4
9		2	4	5
10	1			7
11		1	1	6

que entregar los ejercicios” y “prefiero tener que entregar los ejercicios”, más del 90% de los alumnos la calificaron con un 4, (con una valoración media de 3.89 +/- 0.04). Cabe destacar, que nuestra propuesta es flexible para dar la posibilidad a los alumnos que quieran obtener el feedback, pero no es un requisito para aprobar ni aumentar la nota. Sin embargo, se ha visto que la gran mayoría ha preferido disponer de esta opción.

También se les preguntó abiertamente sobre las características que más han ayudado a superar la asignatura. El resultado de esta consulta fue que de los 16 alumnos que respondieron algo en esta pregunta, 8 de ellos comentaron aspectos relacionados con la clase magistral participativa (“explicaciones en la pizarra al principio”, “resolución de ejercicios en grupo”, etc.). Además, 10 de estos 16 comentarios (más del 60%) estuvieron relacionados con el feedback recibido (“que nos haga enviar las prácticas”, “que nos corrija individualmente lo que enviamos”, etc.). Por lo tanto, podemos concluir que la nueva metodología no ha obtenido solamente buenos resultados, sino que además, ha sido bien aceptada por los alumnos. Muy probablemente, la gran aceptación sirvió para aumentar la implicación y motivación de los alumnos, lo que contribuyó a mejorar los resultados. Como aspectos positivos, remarcamos que el 85% de los alumnos opinó que participó activamente y con interés en las sesiones prácticas, y más del 80% que se sintió motivado y con interés por terminar el trabajo en casa.

Cabe destacar que la media de los alumnos han calificado la asignatura entre normal y difícil, comparándola con otras asignaturas. Además, la mitad de los alumnos encuestados afirmaron que antes de empezar la asignatura, tenían un interés escaso o muy escaso en la misma. Esto es importante, porque si unimos estos dos aspectos, podemos llegar a la explicación del comportamiento histórico: el poco interés que tenían de entrada los alumnos, unido a la dificultad aparente de la asignatura, hace que crezca la desmotivación por la asignatura, decrezca más aún su interés y terminen abandonándola.

A pesar del poco interés inicial generalizado, el 85% de los alumnos en donde aplicamos la nueva metodología,

reconoció que aprendió cosas que consideran valiosas y que además comprendieron los contenidos del curso. El 90% reconoció que el curso le pareció intelectualmente retador y estimulante o muy estimulante, y lo que es más importante, el 95% reconoció que su interés por la asignatura aumentó según avanzaba el curso. Por lo tanto, concluimos que la participación grupal en la resolución de problemas junto al feedback recibido, han hecho que aumentase el factor de motivación por la asignatura y por tanto, los resultados obtenidos.

## VII. CONCLUSIONES

El feedback es un componente esencial en el aprendizaje del alumno. Como hemos visto a lo largo del artículo, en asignaturas con carácter práctico como la programación, éste requiere de un especial interés, ya que los alumnos tienden a abandonar la asignatura y a no tener unas notas no muy altas. Con este fin, hemos utilizado la plataforma educativa para mejorar la interacción profesor-alumno, especialmente en estos escenarios que requieren de un aprendizaje y un feedback continuo. Además, hemos completado esta experiencia con un cambio metodológico para introducir una lección magistral participativa.

Como hemos visto en los resultados obtenidos, la experiencia ha surtido efecto. Hay que tener en cuenta que, aunque la experiencia ha sido aplicada sólo en sesiones prácticas, el grupo analizado ha tenido las mismas sesiones teóricas con el mismo profesor que el otro grupo A1, por lo que las diferencias observadas deberían ser significativas.

Es importante remarcar que aplicar estas innovaciones requiere de un esfuerzo por parte de los alumnos y del profesor. Sin embargo, una herramienta telemática como la plataforma educativa y una buena planificación ayudan a llevarlo de manera más fácil. Sin este soporte telemático, tanto los alumnos como el profesor no tendrían tanta flexibilidad para llevar a cabo este feedback continuo, requiriendo de sesiones tutorizadas para llevar a cabo un trabajo que puede ser mucho más fácil utilizando una herramienta similar a la que hemos utilizado en esta experiencia. Los resultados obtenidos son muy favorables tanto desde el punto de vista de las calificaciones, como del aprendizaje y de las sensaciones personales. Los alumnos se han sentido motivados y esto ha influido en sus dedicación y en su aprendizaje. Estos resultados son alentadores para seguir trabajando en esta línea y extender la experiencia a todo el curso.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los organizadores del SIIE 2012 su invitación para preparar una versión extendida de nuestra publicación para IEEE RITA'.

## REFERENCIAS

- [1] D. Hounsell, "Student feedback, learning and development," Higher Education And The Lifecourse, 2003.
- [2] J. Hattie, "Identifying the salient facets of a model of student learning: a synthesis of meta-analyses," International Journal of Educational Research, vol. 11, pp. 187-212, 1987.
- [3] D. U. Bolliger and T. Martindale, Key factors for determining student satisfaction in online courses. : An article from: International Journal on E-Learning, 2007, vol. 3, no. 2. [Online]. Available: <http://www.amazon.com/exec/obidos/redirect?tag=citeulike07-20&path=ASIN/B00082HB5C>
- [4] P. Black and D. William, "Assessment and classroom learning," Assessment in Education, vol. 15, pp. 7-74, 1998.
- [5] J. Bruner, "Toward a theory of instruction," Cambridge, Mass: Harvard University Press., 1974.
- [6] C. Simpson and G. Gibbs, "Conditions under which assessment supports students' learning," Learning and Teaching in Higher Education, vol. 1, pp. 3-31, 2004.
- [7] A. W. Chickering and Z. F. Gamson, "Seven Principles for Good Practice in Undergraduate Education," AAHE Bulletin, 1987.
- [8] T. J. Crooks, "The impact of classroom evaluation practices on students," Review of Educational Research, vol. 58, no. 4, pp. 438-481, 1988.
- [9] A. Garrido, M. Penadés, and V. Pelechano, "Un modelo de evaluación de prácticas en laboratorio de ingeniería del software," VII Jornadas de Enseñanza Universitaria de Informática (JENU1 2001), pp. 222-227, 2001.
- [10] J. M. Alberola, J. V. Ballester, and A. Garcia-Fornes, "Una metodología basada en una lección magistral participativa para sesiones prácticas," Jornada de Innovación Docente ICE-UPV 2011, 2011.
- [11] S. Wootton, "Encouraging learning or measuring failure?" Teaching in Higher Education, vol. 7, no. 3, pp. 353-357, 2002.
- [12] C. Álvarez and J. Llosa, "Evaluación formativa con feedback rápido usando mandos interactivos," JENU1 2010. "XVI Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática", pp. 363-370, 2010.
- [13] M. Riesco and M. Díaz, "Sistema docente de realimentación inmediata en clases prácticas," JENU1 2005. "Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática", 2005.
- [14] J. M. Such, N. Criado, and A. García-Fornes, "Experiencias con una técnica de aprendizaje activo basada en retroalimentación instantánea y anónima", IE Comunicaciones: Revista Iberoamericana de Informática Educativa, pp. 15-23. 2011.
- [15] K. Ala-mutka, T. Uimonen, and H. matti Järvinen, "Supporting students in c++ programming courses with automatic program style assessment," Journal of Information Technology Education, vol. 3, pp. 245-262, 2004.
- [16] J. Rodríguez, M. Díaz, and Z. Hernández, "Hacia la evaluación continua automática de prácticas de programación," JENU1 2007. "Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática", 2007.
- [17] A. Pardo, I. Estévez-Ayres, P. Basanta-Val, D. Fuentes Lorenzo, "Plataforma de seguimiento continuo de prácticas en la asignatura de arquitectura de ordenadores", 2003.
- [18] J. López-Reguera, C. Hernández-Rivas, Y. Farran-Leiva, "Una plataforma de evaluación automática con una metodología efectiva para la enseñanza/aprendizaje en programación de computadores", Ingeniería. Rev. Chil. Ing. pp. 265-277, 2011.
- [19] C. Areias and A. Mendes. "A tool to help students to develop programming skills". Proceedings of the 2007 international conference on computer systems and technologies. 1-7. 2007.
- [20] P. Del Canto, I. Gallego, J. M. López, J. Mora, A. Reyes, E. Rodríguez, K. Sanjeevan, E. Santamaría, and M. Valero, "Diferentes usos de aprendizaje cooperativo en asignaturas de introducción a la programación de ordenadores", Jornada Nacional sobre Estudios Universitarios. 2008.
- [21] A. Pardo Sánchez, "Programación en C con aprendizaje activo, evaluación continua y trabajo en equipo: caso de estudio". XVI Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática (16es: 2010: Santiago de Compostela). pp. 232-238, 2010.
- [22] M. López, E. Fernández, and P. Massé, "Grupos de aprendizaje colaborativo en programación," XV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, pp. 414-423, 2009.
- [23] M. De la Cruz, "Un modelo de lección magistral para un aprendizaje activo y cooperativo," Cursos y Conferencias de Innovación y Desarrollo docente, 2004.
- [24] D. L. Finkel, "Dar clase con la boca cerrada," Universidad de Valencia. Servicio de Publicaciones, 2008.



**Juan M. Alberola** es un postdoc en el Departament de Sistemes Informàtics i Computació de la Universitat Politècnica de València. Obtuvo su doctorado en Inteligencia Artificial en 2013 y sus áreas de interés incluyen sistemas multiagente, organizaciones, smart grid, mercados electrónicos y sistemas de mejora de la calidad docente.



**Ana Garcia-Fornes** es profesor en el Departament de Sistemes Informàtics i Computació de la Universitat Politècnica de València. Sus áreas de interés incluyen inteligencia artificial de tiempo real, sistemas de tiempo real, infraestructuras de sistemas multiagente y sistemas operativos basados en agentes.

# Un Análisis de Ilustraciones Impresas de Tres Técnicas de Diseño de Algoritmos

Natalia Esteban Sánchez, Antonio Pérez Carrasco, Belén Sáenz Rubio, y J. Ángel Velázquez Iturbide,  
*IEEE Computer Society and IEEE Education Society affiliate member*

**Title**—An Analysis of Printed Illustrations of Three Algorithm Design Techniques.

**Abstract**—The literature on algorithm visualizations lacks clear principles to guide the construction of effective visualizations for educational purposes. Consequently, we conducted an analysis of visualizations regarding three basic algorithm design techniques (divide and conquer, backtracking, and dynamic programming). The material was illustrations found in prestigious algorithm textbooks, which prove to be high-quality sources. In this article, we describe the methodology followed for our analysis and the results obtained, both general and specific of each algorithm design technique. The results are a first step in the way to identify design principles for algorithm visualizations based on algorithm-design techniques.

**Index Terms**—computer science education, algorithms, computer aided instruction, user interfaces.

## I. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la programación ha sido un reto para los profesores universitarios de informática durante cuarenta años aproximadamente [1][2]. Por tanto, no debe sorprender que informáticos, pedagogos y psicólogos hayan dedicado numerosos esfuerzos a mejorar su enseñanza. Una línea destacada de investigación la constituye la visualización de algoritmos [2][3]. Durante los años ochenta y parte de los noventa, las principales aportaciones al campo de la visualización de algoritmos fueron de naturaleza técnica [4][5]. Sin embargo, en la última década el énfasis se desplazó a cuestiones pedagógicas, como la eficacia educativa [6], la implicación del alumno [7], la difusión de los sistemas [8] o el esfuerzo de generación de animaciones [9].

Un hecho sorprendente es que el énfasis en la pedagogía y en la implicación de los usuarios ha sido a costa de una cierta falta de interés en el diseño de las propias visualizaciones. Sin embargo, es obvio que no puede ignorarse su importancia. Como mínimo, se espera que la

N. Esteban Sánchez está en la Unidad de Campus Virtual, Universidad Rey Juan Carlos, 28015 Móstoles, Madrid, España (e-mail: natalia.esteban@urjc.es).

A. Pérez Carrasco está en el Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos I, Universidad Rey Juan Carlos, 28015 Móstoles, Madrid, España (e-mail: antonio.perez.carrasco@urjc.es).

B. Sáenz Rubio estaba en la Universidad Rey Juan Carlos, 28015 Móstoles, Madrid, España. Ahora está en Solium eService Center (e-mail: belen.saenz@soliumcenter.com).

J.Á. Velázquez Iturbide está en el Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos I, Universidad Rey Juan Carlos, 28015 Móstoles, Madrid, España (e-mail: angel.velazquez@urjc.es).

visualización de un algoritmo sea capaz de representar “adecuadamente” el comportamiento del mismo.

Conviene caracterizar con precisión la propiedad de adecuación, es decir, la propiedad de “ser una representación adecuada”. Una visualización de un algoritmo, sea producida por un sistema de software, incluida como ilustración de un libro o dibujada por el profesor en la pizarra, es un modelo conceptual presentado a los alumnos para transmitirles el algoritmo. Por tanto, debe satisfacer las propiedades de precisión, completitud y coherencia [10].

En nuestra experiencia, un sistema de visualización satisface fácilmente la propiedad de adecuación cuando sus visualizaciones tienen un bajo nivel de abstracción, como sucede en los sistemas de visualización de programas [11]. Sin embargo, si queremos mostrar una visualización con un nivel más alto de abstracción, como es el caso de las visualizaciones de algoritmos, la tarea no resulta tan sencilla. Así quedó patente en el análisis [12] de las visualizaciones generadas por el sistema SRec para algoritmos de divide y vencerás [13]. A pesar de usar visualizaciones comunes de la recursividad (como los árboles de recursión), el análisis mostró su incompletitud para visualizar cualquier algoritmo de divide y vencerás.

Por esta razón, hemos emprendido un proyecto de análisis de las visualizaciones propias de algunas de las técnicas de diseño de algoritmos más comunes: divide y vencerás, vuelta atrás y programación dinámica. En concreto, hemos analizado las ilustraciones contenidas en libros de texto de prestigio sobre algoritmia.

La estructura de la comunicación es la siguiente. En la sección II se presenta el contexto y el planteamiento de nuestra investigación. La sección III describe el procedimiento de recogida de ilustraciones y los resultados obtenidos en un análisis preliminar, mientras que en la sección IV se presentan los resultados de un análisis detallado. Finalmente incluimos unas breves conclusiones.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

En esta sección enmarcamos nuestro trabajo en el campo de visualización de algoritmos, repasando recomendaciones existentes en la literatura académica y metodologías de búsqueda de principios de diseño de visualizaciones.

### A. Recomendaciones sobre Sistemas de Visualización de Algoritmos

Existe una gran variedad de recomendaciones sobre sistemas de visualización del software. Gloor propone “diez mandamientos” de la animación de algoritmos [14], algunos

relacionados con las propias animaciones (p.ej. incluir historia de su ejecución) pero otros aplicables a cualquier interfaz de usuario (p.ej. ser coherente). Otras recomendaciones se refieren a funciones aconsejables para la adopción de los sistemas. Ithantola *et al.* [9] clasifican estas recomendaciones en tres categorías: ámbito de las animaciones, su integración en asignaturas e interacción con el alumno. En relación con este último punto, son numerosas las propuestas de funciones encaminadas a que el alumno se implique activamente con el sistema (p.ej. incluir preguntas predictivas [7][15]). Algunos autores basan sus recomendaciones en evaluaciones, bien cualitativas [16] bien cuantitativas [17].

Sin embargo, tras examinar la literatura académica, no se deduce una lista clara de características [18]. De hecho, no es raro que algunos autores encuentren que no son significativas algunas características propuestas por otros [17]. Se trata de un tema de difícil estudio ya que no sólo intervienen las características de las visualizaciones sino otros factores (por ejemplo, tarea docente a realizar).

### B. Recomendaciones sobre la Visualización de Algoritmos

Centrándonos en las propias visualizaciones, encontramos algunas sugerencias. Diehl [19] presenta conocimientos de la teoría de la percepción (p.ej. atributos preatención), técnicas básicas de comunicación visual (p.ej. el color) o técnicas de visualización de la información (p.ej. técnicas de visualización de jerarquías). Sin embargo, no aporta reglas de uso.

En otros casos encontramos recomendaciones sobre el diseño de representaciones gráficas para algoritmos pero son demasiado generales o específicas. Sami Khuri [20] presenta un enfoque basado en el usuario y comenta las fases de análisis y de diseño del sistema. Contiene recomendaciones interesantes sobre la interfaz de usuario (diseño de la pantalla, múltiples vistas y formas de interacción) y sobre algunas técnicas visuales (color, sonido y 3D). Brown y Hershberger [21] presentan diversas recomendaciones sobre la interfaz de usuario (múltiples vistas, pistas sobre el estado, historia estática, estilo de animación, múltiples algoritmos y selección de datos de entrada). Asimismo, dan recomendaciones específicas sobre el uso del color (codificar el estado de las estructuras de datos, resaltar actividad, relacionar múltiples vistas, destacar patrones y hacer visible la historia).

Velázquez *et al.* presentan una recomendación más concreta sobre la estructura temporal de las animaciones [22]. A partir de estudios empíricos, presentan una propuesta de los estados de la ejecución de un algoritmo que deben formar una animación.

En cuanto al formato gráfico de las visualizaciones, sólo encontramos propuestas claras para algoritmos recursivos. Es el caso de Stern y Naish [23], que presentan una clasificación de los algoritmos recursivos en tres clases y presentan visualizaciones que consideran adecuadas para cada una. Asimismo, Velázquez *et al.* [13] proponen y justifican tres representaciones gráficas para algoritmos de divide y vencerás.

### C. Principios de Diseño de Visualizaciones Obtenidos mediante Experimentación

En algunos campos existen criterios claros y explícitos sobre la representación gráfica de sus objetos de estudio, algunos tan bien conocidos como los grafos [24][25] o la estadística [26][27]. En otros campos no se dispone de estos criterios, pero existe experiencia sobre cómo desarrollar una investigación encaminada a encontrarlos.

Un esfuerzo destacable lo constituyen los trabajos realizados por Maneesh Agrawala [28] para aplicaciones tan dispares como mapas de rutas, mapas turísticos, instrucciones de ensamblaje, e ilustraciones basadas en cortes o expansiones para entidades mecánicas, matemáticas o biológicas. Propone una metodología formada por tres pasos: identificación de principios de diseño, implementación del sistema de visualización automática y evaluación del mismo.

Los “principios de diseño” son reglas de alto nivel que describen características de las visualizaciones más eficaces en un dominio. Como hemos comentado, en algunos dominios existen estos principios, pero en otros no. Por tanto, Agrawala contempla distintas estrategias a seguir, según la madurez del dominio: análisis de visualizaciones manuales, uso de trabajos previos en percepción y cognición, o realización de experimentos de percepción y cognición.

### D. Análisis de Ilustraciones de Libros de Texto de Algoritmos

Nuestro objetivo consiste en identificar principios de diseño para visualizaciones de algoritmos, siguiendo el método de trabajo de Agrawala [28]. Afortunadamente, disponemos de “visualizaciones manuales” que analizar: las ilustraciones contenidas en libros de texto de algoritmia.

Conviene mencionar un estudio anterior que realizamos hace algunos años. El estudio analizaba las ilustraciones contenidas en libros de texto sobre las cuatro técnicas básicas de diseño de algoritmos [29]: divide y vencerás, técnica voraz, vuelta atrás y programación dinámica. Un resultado útil fue descubrir que las pocas ilustraciones encontradas para algoritmos voraces no parecen obedecer a ningún patrón común, sino que cada ilustración es particular de un problema. Por esta razón, los sistemas educativos que desarrollamos posteriormente para el aprendizaje de algoritmos voraces contenían visualizaciones *ad-hoc* para cada problema [30]. El estudio, aunque amplio, se centró en pocas características, por lo que resulta insuficiente para identificar principios de diseño.

En los dos apartados siguientes presentamos un estudio detallado de las características de las ilustraciones de algoritmos presentes en libros de texto, centrados en las otras tres técnicas básicas de diseño: divide y vencerás, vuelta atrás, y programación dinámica.

## III. ANÁLISIS PRELIMINAR

En esta sección presentamos las primeras fases de nuestro trabajo: la recogida de datos y un análisis preliminar.

### A. Recogida de Ilustraciones

El primer paso lo constituyó la recogida de ilustraciones. Hemos seleccionado libros de prestigio escritos en inglés, pero también nos ha parecido adecuado analizar libros en español.

Un autor de esta comunicación realizó esta recopilación para la técnica de divide y vencerás, y meses más tarde hicieron lo mismo otros dos autores para las técnicas de vuelta atrás y de programación dinámica. Esta separación temporal ha influido en la lista de libros analizados. Se han analizado un total de 21 libros (todos ellos citados en la sección siguiente), de los que sólo 8 son comunes a las tres técnicas. Siete libros se han analizado en exclusiva para la técnica de divide y vencerás, y 6 para vuelta atrás y programación dinámica.

Cada uno de los tres autores realizó independientemente su recogida de ilustraciones. Si un libro contenía un capítulo dedicado a la técnica de diseño asignada, se examinaba exhaustivamente. En caso contrario, en el índice de términos se buscaban problemas o algoritmos representativos de la técnica (p.ej. *quicksort* para divide y vencerás). En principio no cuestionamos la idoneidad de los algoritmos incluidos por los autores en cada una de las técnicas de diseño, aunque al analizar la técnica de divide y vencerás tuvimos que distinguir entre varias clases de algoritmos.

Cada autor escaneó las ilustraciones encontradas y elaboró un informe técnico. Cada informe agrupaba los problemas en categorías; dada la especificidad de cada técnica de diseño, las categorías fueron distintas. Para cada problema, se reprodujo literalmente su enunciado y sus ilustraciones, y se recopiló la información bibliográfica asociada (p.ej. capítulo y página), nomenclatura relevante usada por el autor e información sobre las ilustraciones y su código fuente. Esta información también se resumía en una o varias tablas.

Los datos recopilados pueden encontrarse en tres informes técnicos [31][32][33].

### B. Conclusiones Preliminares

Una vez concluida la recopilación de ilustraciones, el investigador restante leyó los informes y realizó un análisis exploratorio. Como resultado, elaboró un documento con características destacables, ilustrado con figuras, y elaboró una serie de características interesantes que precisaban un análisis más detallado. Veamos algunas conclusiones preliminares:

- Para todas las técnicas de diseño de algoritmos, se utilizan tanto representaciones propias de la informática como dependientes del dominio. Entre las primeras, encontramos representaciones gráficas conceptuales (p.ej. árbol de recursión), de ejecución (p.ej. pila de control) y TADs (p.ej. grafo).
- Dado un problema o algoritmo, las ilustraciones se utilizan para diversos objetivos: un ejemplo de un problema (entrada o salida), la ejecución del algoritmo con ciertos datos o una explicación genérica del diseño del algoritmo o de una propiedad de éste.

- Las ilustraciones no sólo muestran valores, sino también etiquetas de texto (como identificadores o expresiones) para dar mayor sentido a la ilustración.
- Presentación frecuente de una secuencia de estados de la ejecución de un algoritmo. En algunos casos, son representaciones similares que recuerdan a la técnica gráfica de *small multiples* o pequeños múltiples [34].
- Algunas ilustraciones sugieren operaciones de interacción [35] que convendría incluir en un sistema de visualización de software (p.ej. filtrado de datos o conexión entre elementos de una estructura de datos).
- Algunas figuras aparecen simplificadas de forma análoga a las técnicas de simplificación de visualizaciones de la información basadas en foco+contexto [36].

La Figura 1 ilustra algunos de los hallazgos anteriores. Muestra una ilustración del algoritmo de puntos máximos en un espacio bidimensional [47]. Se trata de una representación geométrica (en el plano euclídeo) para un algoritmo de divide y vencerás. La figura muestra un ejemplo de 14 puntos, su partición en dos mitades iguales (mediante la recta vertical  $L$ ) y el resultado parcial del algoritmo para cada mitad (como puntos encuadrados). También pueden observarse etiquetas alfanuméricas utilizadas para identificar los elementos del diagrama (ejes, puntos, líneas y regiones).

## IV. ANÁLISIS DETALLADO

En este apartado presentamos el procedimiento de análisis, las categorías identificadas y los resultados del análisis para cada técnica de diseño de algoritmos. Por último, resumimos los hallazgos comunes y específicos de cada técnica.

### A. Procedimiento de Análisis

Se rehicieron los análisis de cada técnica de diseño. Se revisaron las categorías de problemas definidas para cada técnica, reduciendo su número, y se analizaron las relaciones entre representaciones gráficas, clases de problemas y objetivos de las ilustraciones.

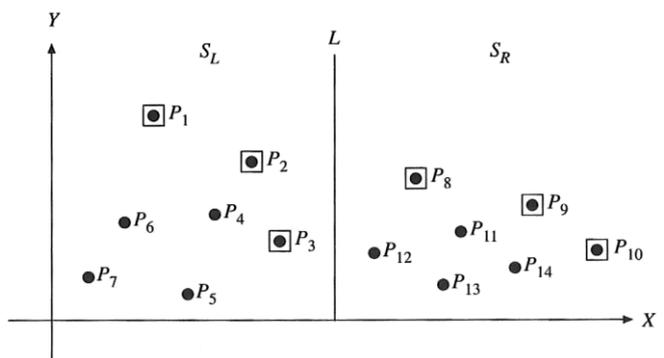


Figura 1. Ilustración del algoritmo de puntos máximos. (Tomada de [47]. Reproducida con permiso de McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.)

Tras esta segunda ronda de análisis, los resultados se pusieron en común, identificando tendencias comunes. También se identificó qué aspectos se habían analizado para alguna técnica pero no para otras. Para la técnica de divide y vencerás, se vio la necesidad de clasificar los algoritmos recopilados.

Posteriormente se realizaron otras dos rondas en las que se refinaron los criterios de catalogación y se homogeneizaron los resultados de los tres análisis. Para aumentar la fiabilidad de la clasificación, el cuarto investigador se reunió por separado con cada uno de los tres investigadores que habían recopilado ilustraciones y revisaron juntos las catalogaciones. Finalmente, se elaboraron los resultados aquí presentados.

### B. Categorías de Clasificación

Inicialmente no disponíamos de categorías para clasificar las ilustraciones, sino que se refinaron al avanzar el análisis, siguiendo los principios de la *grounded theory* [37].

Una primera dificultad es la definición de ilustración, que es necesaria para su contabilidad. Consideramos que una ilustración es lo que un autor ha considerado como tal, salvo que no sea relevante para nuestro análisis (p.ej. si la figura contiene código fuente). Sin embargo, encontramos numerosas ilustraciones compuestas y, a la inversa, ilustraciones consecutivas muy parecidas. Resolvimos esta situación distinguiendo entre los conceptos de ilustración compuesta e ilustración simple. Si una ilustración consta de varias partes con distinto formato u objetivo, se considera que es una ilustración compuesta y por tanto se parte en ilustraciones simples. A su vez, si varias ilustraciones consecutivas son muy parecidas, con el mismo formato y objetivo (p.ej. varios estados de una ejecución), se agrupan en una sola ilustración simple.

Otros criterios de catalogación son:

- Clase de problema. Nuestra aproximación ha sido pragmática, identificando clases de problemas que agrupan de forma “razonable” los problemas encontrados para cada técnica de diseño (p.ej. problemas de grafos o matemáticos).
- Representación gráfica. Distinguimos todas las clases de representaciones gráficas necesarias (p.ej. vector, tablero, etc.). Algunas son parecidas pero se diferencian en su diseño gráfico (p.ej. tabla y matriz). Una segunda clasificación de las representaciones gráficas distingue entre representaciones dependientes del dominio (p.ej. tablero), representaciones propias de la informática (p.ej. vector) y representaciones específicas de una técnica de diseño (p.ej. árbol de búsqueda).
- Objetivo. Distinguimos tres objetivos destacados: un ejemplo de entrada/salida, una ejecución y una explicación teórica.

Para cada técnica de diseño ha sido conveniente introducir algunos criterios *ad hoc*:

- Completitud. Una ilustración puede aparecer completa o parcial (sólo una parte). También encontramos ilustraciones simplificadas (en vuelta

atrás y programación dinámica) o que reflejan una definición inductiva (en divide y vencerás).

- Subcategorías de las representaciones propias de cada técnica de diseño. Para divide y vencerás, se analizó el flujo de ejecución mostrado en las representaciones de la recursividad. Para vuelta atrás, se distinguió entre árbol de búsqueda potencial y generado. Para programación dinámica, se distinguió entre tablas que almacenan valores óptimos y tablas que almacenan las decisiones asociadas.

### C. Resultados para Algoritmos de Divide y Vencerás

Se consultaron 15 libros [25][38][39][40][41][42][43][44][45][46][47][48][49][50][51], en los que se encontraron 20 problemas, de los que 3 no contenían ninguna ilustración. Los restantes 17 problemas incluían 63 ilustraciones. De ellas, 5 ilustraciones compuestas se dividieron en 10 simples y 13 se agruparon en 8 ilustraciones simples, por lo que resultan (también) 63 ilustraciones simples.

El análisis reveló que las ilustraciones encontradas eran más heterogéneas que en otras técnicas de diseño. Esto se debe a que los autores de los libros mezclan tres clases de algoritmos: algoritmos propiamente de divide y vencerás, algoritmos auxiliares de divide y vencerás (partición de un problema o combinación de resultados), y otros algoritmos iterativos o recursivos lineales incluidos por algunos autores. Para no desvirtuar los resultados, solamente hemos analizado las 40 ilustraciones de algoritmos propiamente de divide y vencerás, correspondientes a 12 problemas.

Para facilitar su análisis, los 12 problemas se clasificaron en cinco categorías: problemas matemáticos (p.ej. multiplicación de números grandes), problemas que manejan una estructura de datos y devuelven un valor (p.ej. máximo valor de un vector), problemas que modifican una estructura de datos sin devolver ningún valor (p.ej. ordenar un vector), problemas geométricos (p.ej. creación de un diagrama de Voronoi) y problemas de entretenimiento (p.ej. coloreado de un tablero defectuoso).

Como representaciones gráficas, se distinguió entre árbol de recursión, estructura de datos (normalmente un vector o matriz), diagrama geométrico y tablero. Veamos los principales hallazgos:

- Las representaciones gráficas usadas mayoritariamente son: diagramas geométricos (42,5%), árbol de recursión (25%) y vectores (17,5%).
- De forma más general, las representaciones más usadas son las propias del dominio (52,5%), seguidas de los árboles de recursión (25%) y las propias de la informática (22,50%).
- Los árboles de recursión se muestran completos en todas los casos salvo para una explicación.

Se estudió el tratamiento dado a las categorías de problemas. Se hicieron los siguientes hallazgos:

- Los problemas con más ilustraciones son los geométricos (42,5% de las ilustraciones), seguidos de los de estructuras de datos sin resultado (27,50%).
- Hay una relación clara entre la representación gráfica y la categoría del problema. Los problemas matemáticos sólo se representan como vectores o matrices. Los problemas de vectores sólo se ilustran con vectores o árboles de recursión. Los problemas geométricos sólo se ilustran con diagramas geométricos. El resto de problemas casi siempre se ilustran con diagramas propios.

Sólo hay 23 ilustraciones que hacen explícito el proceso recursivo. Sobre ellas, podemos concluir:

- La mayor parte de estas ilustraciones corresponden a árboles de recursión (43,48%) o representaciones de los datos (39,13%). Éstas últimas son secuencias del estado de los datos (21,74%) o diagramas de partición/ combinación sobre los datos (17,39%).
- Coexisten las visualizaciones completas del proceso recursivo para datos de tamaño pequeño (52,17%) con las inductivas (43,48%).
- Preferentemente, se muestran ambos sentidos del proceso recursivo (60,87%).

También se estudió el objetivo de estas 23 ilustraciones. Encontramos lo siguiente:

- Los objetivos se reparten entre explicaciones genéricas (52,5%) y ejecuciones (47,5%).
- Hay una tendencia a ilustrar la ejecución en problemas con estructuras de datos sin devolución de resultado (81,81%) y hacia ilustrar una explicación en problemas matemáticos (100%), otros problemas de estructuras de datos (75%) y problemas geométricos (64,7%).
- Los árboles de recursión sin dirección clara corresponden a explicaciones.

#### D. Resultados para Algoritmos de Vuelta Atrás

Se consultaron 14 libros diferentes [39][41][42][44][47][49][50][51][52][53][54][55][56][57], hallándose que 6 no incluían la técnica de vuelta atrás. Se encontraron 23 problemas ilustrados. Recopilamos 54 ilustraciones, algunas compuestas, resultando 60 ilustraciones simples.

Para facilitar su análisis, los 23 problemas se clasificaron en cuatro categorías: problemas de juegos (p.ej.  $n$  reinas), problemas sobre grafos (p.ej. problema del viajante), otros problemas de decisión (p.ej. dos subconjuntos de igual suma) y otros problemas de optimización (p.ej. mochila 0/1).

Se distinguió entre las representaciones gráficas: árbol de búsqueda potencial, árbol de búsqueda generado y dependiente del dominio. Veamos los hallazgos principales:

- Las representaciones gráficas usadas mayoritariamente son: árboles de búsqueda (55%,

desglosados en dos tercios de árboles potenciales y un tercio de árboles generados), representaciones dependientes del dominio (30%) y propias de la informática (grafos, 15,46%).

- Los árboles de búsqueda pueden aparecer completos (48,48%), completos pero simplificados (33,33%) o dibujados parcialmente (18,18%).
- Los árboles de búsqueda potenciales sólo están completos o simplificados. Los árboles generados pueden ser de las tres clases, siendo parciales y completos los más usados (50% y 41,67%).

Se estudió el tratamiento dado a cada categoría de problemas. Se hicieron los siguientes hallazgos:

- Los problemas con mayor número absoluto de ilustraciones son los de juegos (38,34% de todas las ilustraciones) y grafos (30%).
- Los problemas con mayor número relativo de ilustraciones son los de juegos (3,25 ilustraciones por libro) y grafos (3).
- Los árboles de búsqueda se usan para toda clase de problemas, usándose de forma exclusiva para otros problemas de decisión y problemas de optimización. Los problemas de juegos o de grafos se apoyan más en representaciones dependientes del dominio.

También se analizó el objetivo de las ilustraciones. Encontramos lo siguiente:

- El uso de las ilustraciones es variado: explicación (46,67%), ejecución (35%) o entrada/salida (18,33%).
- Las ejecuciones y las explicaciones se usan con toda clase de problemas, mientras que la entrada/salida se limita a problemas de juegos o de grafos (26,83% de las representaciones de estas clases de problemas).
- Los árboles de búsqueda sólo se usan en ejecuciones (81,71% de éstas) o explicaciones (53,57%). Las distintas clases de árboles difieren en su objetivo. Los árboles parciales sólo se usan para ejecuciones. Los árboles potenciales completos suelen usarse (62,5%) para ejecuciones. Los árboles potenciales simplificados suelen usarse para explicaciones (81,82%).
- En dos casos de juegos se ha encontrado una secuencia de estados del tablero para ilustrar la ejecución del algoritmo, junto con su árbol potencial y generado.
- Las representaciones dependientes del dominio se usan para todos los fines, aunque principalmente para explicaciones (47,06%, p.ej. para mostrar la generación o validez de candidatos). Sin embargo, las ilustraciones de grafos no se usan para ejecuciones.

### E. Resultados para Algoritmos de Programación Dinámica

Se consultaron los mismos 14 libros [39][41][42][44][47][49][50][51][52][53][54][55][56][57] que para la técnica de vuelta atrás. Se encontraron 36 problemas ilustrados. Contabilizamos 132 ilustraciones, algunas compuestas, por lo que disponemos de 148 ilustraciones simples.

Para facilitar su análisis, los 36 problemas se clasificaron en siete categorías: cadenas de caracteres (p.ej. subsecuencia común más larga), árboles (p.ej. árboles óptimos de búsqueda), grafos (p.ej. problemas de caminos mínimos), matemáticos (p.ej. serie de Fibonacci), matrices (p.ej. multiplicación de matrices con coste mínimo), planificación (p.ej. la mochila 0/1) y otros (p.ej. triangulación de coste mínimo).

Como representaciones gráficas, se distinguió entre: tablas, árboles de recursión, grafos de dependencia y otras representaciones, bien dependientes del dominio, bien propias de la informática. Veamos los principales hallazgos:

- Las representaciones gráficas se usan de la siguiente forma: tablas (36,49%), representaciones propias de la informática (32,43%), representaciones dependientes del dominio (16,22%), y árboles de recursión y grafos de dependencia (7,43% cada una).
- Las tablas suelen tener el formato bidimensional común en informática aunque en algunos problemas adoptan formato de matriz. Las tablas pueden contener los valores a optimizar o las decisiones que conducen a éstos (a veces, ambos). Las tablas que contienen valores constituyen el 83,33% de los casos, mientras que las que contienen decisiones, sólo son el 20,37%.
- El 32,43% de las ilustraciones son parciales o simplificadas.

Se estudió el tratamiento dado a las categorías de problemas, arrojando los siguientes hallazgos:

- Los problemas con más ilustraciones son los de grafos (26,35% de las ilustraciones), seguidos de problemas de árboles (22,3%), matemáticos y de planificación (18,24% cada categoría), estando menos ilustrados los problemas de cadenas de caracteres y otros.
- Los problemas más populares son de planificación (ilustrados por el 78,57% de los autores), matemáticos (71,42%) y de grafos (57,14%).
- Porcentualmente, los problemas que más utilizan tablas son los de cadenas de caracteres (55,56% de las ilustraciones de estos problemas), matemáticos (51,85%) y de planificación (40,74%), mientras que los problemas de árboles y de grafos se apoyan más en sus representaciones informáticas correspondientes (72,73% y 43,59%, respectivamente).
- Los árboles de recursión sólo se utilizan en problemas matemáticos y de planificación, mientras

que los grafos de dependencia se utilizan poco pero en toda clase de problemas.

También se analizó el objetivo de la ilustración. Encontramos lo siguiente:

- Las ilustraciones se utilizan principalmente para representar la ejecución de algoritmos (39,87% de las ilustraciones), seguidas de ejemplos de entrada y salida (33,78%) y explicaciones (26,35%).
- Las representaciones gráficas utilizadas para problemas de árboles y de grafos ilustran sobre todo ejemplos de entrada/salida. El menor porcentaje de las explicaciones se da con toda clase de problemas.
- Las ilustraciones de ejecución o entrada/salida suelen estar completas (84,4% entre ambas), mientras que las de explicaciones suelen ser simplificadas (79,49%).

### F. Resumen de Resultados

Podemos identificar las siguientes tendencias generales:

- Hay problemas que se apoyan más y se comprenden mejor con ilustraciones gráficas (p.ej. problemas geométricos o de grafos). El objetivo de ilustrar su entrada/salida se da más frecuentemente que en otros problemas.
- Las representaciones dependientes del dominio aparecen en problemas que no quedan ilustrados adecuadamente con representaciones propias de la informática (p.ej. problemas geométricos).
- En cada técnica de diseño conviven representaciones dependientes del dominio y propias de la informática (tanto generales como específicas de la técnica).
- Las representaciones de los datos se usan para entrada/ salida y, con frecuencia, para ilustrar la ejecución y otras explicaciones.
- Cada técnica de diseño tiene representaciones específicas para la ejecución no lineal: árboles de recursión en divide y vencerás, árboles de búsqueda en vuelta atrás y tablas en programación dinámica. Estas representaciones también se utilizan en explicaciones.

También encontramos conclusiones específicas de cada técnica de diseño:

- Para divide y vencerás, se utilizan árboles de recursión y representaciones de los datos. Los árboles de recursión sólo se usan en problemas de vectores. Las representaciones de los datos permiten mostrar la definición inductiva o una secuencia de estados. No hay diferencia entre ambas representaciones ni por objetivo ni por completitud.
- Para vuelta atrás, se usan árboles de búsqueda potenciales y generados. Los árboles de búsqueda potenciales se muestran completos o simplificados,

tanto para explicación como para ejecución. Los árboles de búsqueda generados suelen mostrarse parciales o completos, sólo para ejecuciones.

- Para programación dinámica, se utilizan tablas y, en menor medida, árboles de recursión y grafos de dependencia. Las tablas se utilizan principalmente para problemas de cadenas, matemáticos y de planificación. Los árboles de recursión se usan sólo en problemas matemáticos y de planificación. Las ilustraciones para explicaciones suelen simplificarse.

#### V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Hemos analizado un alto número de ilustraciones de algoritmos contenidas en libros de texto. El análisis se ha realizado de forma iterativa, con un gran esfuerzo de análisis. Como resultado, hemos identificado las tendencias principales.

Como trabajo inmediato, queremos hacer otra iteración de análisis, con los criterios ya definitivos, que permitan obtener conclusiones finales. También queremos comprobar que nuestras conclusiones quedan confirmadas en otras figuras. Lo comprobaremos con los algoritmos descartados de divide y vencerás y, quizá, con algoritmos voraces. Esta comprobación sería muy interesante al basarse en la cuarta técnica básica de diseño de algoritmos y por su gran variedad de ilustraciones. Después formularemos principios de diseño gráfico para el desarrollo de un sistema de visualización de algoritmos. Aunque algunos principios pueden intuirse a partir de los resultados obtenidos, deben tener una formulación como reglas de uso.

A medio plazo, esperamos emprender el desarrollo de un sistema de visualización de programas, orientado a técnicas de diseño, que soporte los principios de diseño gráfico identificados.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha financiado con el proyecto TIN2011-29542-C02-01 del Ministerio de Economía y Competitividad.

#### REFERENCIAS

- [1] A. Robin, J. Roundtree, y N. Roundtree, "Learning and teaching programming: A review and discussion," *Computer Science Education*, vol. 13, no. 2, pp. 137-172, 2003.
- [2] S. Fincher, y M. Petre, *Computer Science Education Research*. London, UK: Routledge, 2004.
- [3] R. Lister, "The naughties in CSEd research: A retrospective," *SIGCSE Inroads*, vol. 1, no. 1, pp. 22-24, Marzo 2010.
- [4] M. H. Brown, *Algorithm Animation*. Cambridge, MA: MIT Press, 1988.
- [5] J. Stasko, "Tango: A framework and system for algorithm animation," *Computer*, vol. 23, no. 9, pp. 27-39, Septiembre 1990.
- [6] C. Hundhausen, S. Douglas, y J. Stasko, "A meta-study of algorithm visualization effectiveness," *Journal of Visual Languages and Computing*, vol. 13, no. 3, pp. 259-290, Junio 2002.
- [7] T. Naps, G. Roessling, V. Almstrum, W. Dann, R. Fleischer, C. Hundhausen, A. Korhonen, L. Malmi, M. McNally, S. Rodger, y J. Á. Velázquez-Iturbide, "Exploring the role of visualization and engagement in computer science education," *SIGCSE Bulletin*, vol. 35, no. 2, pp. 131-152, Junio 2003.
- [8] T. L. Naps, G. Roessling, J. Anderson, S. Cooper, W. Dann, R. Fleischer, B. Koldehofe, A. Korhonen, M. Kuitinen, C. Leska, L. Malmi, M. McNally, J. Rantakokko, y R. J. Ross, "Evaluating the educational impact of visualization," *SIGCSE Bulletin*, vol. 35, no. 4, pp. 124-136, Diciembre 2003.
- [9] P. Ihanola, V. Karavirta, A. Korhonen, y J. Nikander, "Taxonomy of effortless creation of algorithm visualization," *Proc. 2005 International Workshop on Computing Education Research, ICER 2005*. New York, NY: ACM Press, pp. 123-133.
- [10] D. Norman, "Some observations on mental models," en *Mental Models*, D. Gentner y A. Stevens, Eds. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1983., pp. 7-14.
- [11] B. A. Price, R. Baecker, y I. Small, "An introduction to software visualization," en *Software Visualization*, J. Stasko, J. Domingue, M. H. Brown, y B. A. Price, Eds. Cambridge, MA: MIT Press, 1998, pp. 3-27.
- [12] A. Pérez-Carrasco, J. Á. Velázquez-Iturbide, y F. Almeida Martínez, "La representación de algoritmos diseñados bajo la técnica «divide y vencerás»," *Indagatio Didactica*, vol. 3, no. 3, pp. 44-68, Diciembre 2011.
- [13] J. Á. Velázquez-Iturbide, A. Pérez-Carrasco, y J. Urquiza-Fuentes, "A design of automatic visualizations for divide-and-conquer algorithms," *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, no. 224, pp. 113-120, Enero 2009.
- [14] P. A. Gloor, "User interface issues for algorithm animation," en *Software Visualization*, J. Stasko, J. Domingue, M. H. Brown, y B. A. Price, Eds. Cambridge, MA: MIT Press, 1998, pp. 145-152.
- [15] G. Roessling, y T. L. Naps, "A testbed for pedagogical requirements in algorithm visualizations," en *Proc. 7th Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education, ITiCSE'02*. New York, NY: ACM Press, pp. 96-100.
- [16] M. Lattu, V. Meisalo, y J. Tarhio, "A visualization tool as a demonstration aid," *Computers and Education*, vol. 41, no. 2, pp. 133-148, Septiembre 2003.
- [17] P. Saraiya, C. A. Shaffer, D. S. McCrickard, y C. North, "Effective features of algorithm visualizations," en *Proc. 35th Technical Symposium on Computer Science Education, SIGCSE'04*. New York, NY: ACM Press, pp. 382-386.
- [18] J. Urquiza-Fuentes, y J. Á. Velázquez-Iturbide, "A survey of successful evaluations of program visualization and algorithm animation systems", *ACM Transactions on Computing Education*, vol. 9, no. 2, 2009, article 9.
- [19] S. Diehl, *Software Visualization*. Berlín, Alemania: Springer-Verlag, 2007.
- [20] S. Khuri, "Designing effective algorithm visualizations," en E. Sutinen, Ed. *Proceedings of the First Program Visualization Workshop*. Joensuu, Finlandia: University of Joensuu, 2000, pp. 1-12.
- [21] M. H. Brown, y J. Hershberger, "Fundamental techniques for algorithm animation displays," en *Software Visualization*, J. Stasko, J. Domingue, M. H. Brown, y B. A. Price, Eds. Cambridge, MA: MIT Press, 1998, pp. 81-89.
- [22] J. Á. Velázquez-Iturbide, D. Redondo-Martín, C. Pareja-Flores, y J. Urquiza-Fuentes, "An instructor's guide to design web-based algorithm animations," en *Advances in Web-Based Learning - ICWL 2007*, LNCS 4823, Berlín: Springer-Verlag, 2008, pp. 440-451.
- [23] L. Stern, y L. Naish. "Visual representations for recursive algorithms," en *Proc. 33th SIGCSE Technical Symposium on Science Education, SIGCSE 2002*. New York, NY: ACM Press, pp. 196-200.
- [24] K. Sugiyama, *Graph Drawing and Applications for Software and Knowledge Engineers*. Singapur: World Scientific, 2002.
- [25] P. di Batista, G. Eades, T. Tamassia, y I. Tollis. *Graph Drawing: Algorithms for the Visualization of Graphs*. Prentice-Hall, 1999.
- [26] J. Bertin, *Semiology of Graphics*. Madison, WI: University of Wisconsin Press, 1983.
- [27] W. Cleveland. *Visualizing Data*. Mummit, NJ: Hobart Press, 1993.
- [28] M. Agrawala, W. Li, y F. Berthouzoz, "Design principles for visual communication," *Communications of the ACM*, vol. 54, no. 4, pp. 60-69, Abril 2011.
- [29] L. Fernández-Muñoz, y J. Á. Velázquez-Iturbide, "Estudio sobre la visualización de las técnicas de diseño de algoritmos", en *Interacción'06: Actas del VII Congreso Internacional de Interacción Persona-Ordenador*, pp. 315-324.
- [30] J. Á. Velázquez-Iturbide, C.A. Lázaro-Carrascosa y I. Hernán-Losada, "Asistentes interactivos para el aprendizaje de algoritmos voraces", *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 4, no. 3, pp. 213-220, Agosto 2009.
- [31] A. Pérez Carrasco, J. Á. Velázquez Iturbide, F. Almeida Martínez, "Revisión bibliográfica de la representación de problemas de la

técnica «divide y vencerás»,» Serie de Informes Técnicos DLSII-URJC, no. 2012-02.

- [32] N. Esteban Sánchez, J. Á. Velázquez Iturbide, “Revisión bibliográfica de problemas resolubles por la técnica de vuelta atrás,” Serie de Informes Técnicos DLSII-URJC, no. 2012-03.
- [33] B. Sáenz Rubio, J. Á. Velázquez Iturbide, “Revisión bibliográfica de algoritmos de programación dinámica,” Serie de Informes Técnicos DLSII-URJC, no. 2012-04.
- [34] E. R. Tufte, “The Visual Display of Quantitative Information,” Cheshire, CN: Graphics Press, 1983.
- [35] Yi, J.S.; Kang, Y.a.; Stasko, J.T.; Jacko, J.A. “Toward a deeper understanding of the role of interaction in information visualization,” IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics, vol. 13, no. 6, pp. 1.224-1.231, 2007.
- [36] Y. K. Leung, M. D. Apperley, “A review and taxonomy of distortion-oriented presentation techniques,” ACM Transactions on Computer-Human Interaction, vol. 1, no. 2, pp. 126-160, Junio 1994.
- [37] B. Glaser, y A. Strauss, The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research. Aldine, 1967.
- [38] M. Allen, Estructuras de datos y algoritmos. Addison-Wesley Iberoamericana, 1995.
- [39] M. H. Alsuwaiyel, Algorithms, Design Techniques and Analysis. World Scientific, 1999.
- [40] G. Brassard, y P. Bratley, Algorítmica, concepción y análisis. Masson 1996.
- [41] G. Brassard, y P., Bratley, Fundamentos de algoritmia. Prentice-Hall, 1997.
- [42] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, y R. L. Rivest, Introduction to algorithms. Cambridge, MA: MIT Press, 2ª ed., 2001.
- [43] A. De Giusti, Algoritmos, datos y programas con aplicaciones en Pascal, Delphi y Visual Da Vinci. Prentice Hall, 2001.
- [44] J. Gonzalo Arroyo, y M. Rodríguez Artacho, M. Esquemas algorítmicos: enfoque metodológico y problemas resueltos. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia, 1997.
- [45] R. Johnsonbaugh, y M. Schaefer, Algorithms. Pearson Education, 2004.
- [46] J. Kleinberg, y É. Tardos, Algorithm Design. Pearson Addison-Wesley, 2006.
- [47] R.C.T., Lee, S.S., Tseng, R.C., Chang, y Y.T. Tsai, Introducción al diseño y análisis de algoritmos, un enfoque estratégico. McGraw-Hill, 2007.
- [48] A. Levitin, The Design of Analysis of Algorithms. Addison-Wesley, 2003.
- [49] N. Martí Oliet, Y. Ortega, y J. A. Verdejo, Estructuras de datos y métodos algorítmicos ejercicios resueltos. Pearson, 2004.
- [50] I. Parberry, Problems on Algorithms. Prentice -Hall, 2002.
- [51] S. Sahni, Data structures, Algorithms and Applications in Java. Silicon Press, 2005.
- [52] S. Baase, y A. Van Gelder, Computer Algorithms: Introduction to Design and Analysis. Addison-Wesley Longman, 2000.
- [53] M. T. Goodrich, y R. Tamassia, Data Structures and Algorithms in Java. John Wiley & Sons, 2ª ed., 2001.
- [54] E. Horowitz, y S. Sahni, Fundamentals of Computer Algorithms. Pitman, 1978.
- [55] R. Neapolitan, y K. Naimipour, Foundations of Algorithms. Jones and Bartlett, 1997.
- [56] R. Sedgewick, Algorithms in Java. Addison-Wesley, 2002.
- [57] S. Skiena, The Algorithm Design Manual. Berlín, Alemania: Springer-Verlag, 1998.



**J. Ángel Velázquez Iturbide** es Licenciado en Informática (1985) y Doctor en Informática (1990) por la Universidad Politécnica de Madrid, España.

Ha sido profesor desde 1985 en la Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid. En 1997 se incorporó a la Universidad Rey Juan Carlos, donde actualmente es Catedrático de Universidad y director del Laboratorio de Tecnologías de la Información en la Educación (LITE). Sus áreas de investigación son innovación docente en programación, software educativo para

la enseñanza de la programación y visualización del software.

El Dr. Velázquez es miembro de IEEE Computer Society, IEEE Education Society, ACM y ACM SIGCSE. También es presidente de la Asociación para el Desarrollo de la Informática Educativa (ADIE).



**Natalia Esteban Sánchez** es Ingeniera Técnica en Informática de Sistemas (2005), Ingeniera Informática (2009) y ha realizado el Máster en Ingeniería de Sistemas de la Decisión (2010) por la Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España.

Ha sido profesora desde 2010 en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática de la Universidad Rey Juan Carlos, donde actualmente compagina su labor investigadora con la coordinación del Campus Virtual de la Universidad. Sus áreas de investigación son

innovación docente en programación, software educativo para la enseñanza de la programación y visualización del software.



**Antonio Pérez Carrasco** es Ingeniero Informático (2008) y Doctor en Informática (2011) por la Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España.

Ha sido profesor desde 2008 en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática de la Universidad Rey Juan Carlos como PDI en formación y posteriormente como profesor visitante. Es miembro del Laboratorio de Tecnologías de la Información en la Educación (LITE). Sus áreas de investigación son

innovación docente en programación, software educativo para la enseñanza de la programación y visualización del software.



**Belén Sáenz Rubio** es Ingeniera Técnica en Informática de Sistemas (2005), Ingeniera Informática (2010) y ha realizado el Máster en Ingeniería de Sistemas de la Decisión (2010) por la Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España.

Ha sido profesora desde 2010 en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática de la Universidad Rey Juan Carlos. Actualmente compagina su labor investigadora con el mundo laboral como Consultora de *IT Governance, Risk and Security* en *Solium eService Center*. Sus áreas de investigación son

innovación docente en programación, software educativo para la enseñanza de la programación y visualización del software.

# Construyendo Familias de Productos Software para Plataformas e-Learning: Un Caso de Estudio

Pablo Sánchez Barreiro, Diego García-Saiz y Marta Elena Zorrilla Pantaleón

**Title— Building Families of Software Products for e-Learning Platforms: A Case Study**

**Abstract—** Las aplicaciones para plataformas e-learning tienen que enfrentarse con una variabilidad inherente a su dominio. Por ejemplo, deben adaptarse a las variaciones de cada proceso de enseñanza-aprendizaje. Como consecuencia, antes de desplegarlas, deben modificarse manualmente conforme a las particularidades del entorno donde se van a utilizar. Esta adaptación es costosa y puede generar errores. Nuestra hipótesis es que las Líneas de Productos Software (LPS), cuyo objetivo es producir de forma eficiente sistemas software similares, pueden aliviar este problema. Este trabajo ilustra dicha idea mediante la refactorización de la aplicación de e-learning E-Learning Web Miner en una LPS, indicando los beneficios obtenidos.

**Index Terms—** Software Product Line, Refactoring, e-Learning, Data mining.

## I. INTRODUCCIÓN

LA inmensa mayoría de instituciones educativas utiliza hoy en día algún tipo de plataforma de aprendizaje, también conocidas como plataformas e-learning, tales como Moodle, WebCT/Blackboard o Shakai. Como bien es sabido, estas plataformas tienen por objeto facilitar y mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante el aprovechamiento de las tecnologías de Internet. Para ello ofrecen diferentes recursos y herramientas que permiten a los alumnos desarrollar tanto el aprendizaje autónomo como el colaborativo de forma sencilla, gracias a la facilidad de uso de estas tecnologías. Además, esta forma de enseñanza ofrece ventajas tanto a alumnos como profesores. A los primeros les permite establecer su ritmo de aprendizaje, horario y lugar de trabajo; y a los profesores, les permite diseñar contenidos y actividades orientadas a diferentes perfiles de alumnos y distintos estilos de aprendizaje [1] gracias a las capacidades interactivas y multimedia que estas herramientas proporcionan.

Pablo Sánchez Barreiro es profesor del Departamento de Matemáticas, Estadística y Computación de la Universidad de Cantabria. Av. De los Castros s/n. Santander E-39005 (España). Telef. +34 942 201430, e-mail: p.sanchez@unican.es

Diego García-Saiz es becario FPU de la Universidad de Cantabria. Av. De los Castros s/n. Santander E-39005 (España). Telef. +34 942 202063, e-mail: garciasad@unican.es

Marta Elena Zorrilla Pantaleón es profesora del Departamento de Matemáticas, Estadística y Computación de la Universidad de Cantabria. Av. De los Castros s/n. Santander E-39005 (España). Telef. +34 942 202063, e-mail: marta.zorrilla@unican.es

Alrededor de estas plataformas, se ha generado un nuevo mercado de aplicaciones auxiliares para las mismas. Por ejemplo, la plataforma Moodle cuenta actualmente con 786 módulos complementarios y plugins disponibles en su web. Estos módulos ofrecen diferentes utilidades que van desde una simple sincronización de e-Calendarios hasta el soporte avanzado para el desarrollo de portafolios electrónicos [2], como es el caso de la aplicación Mahara [3].

Todas estas plataformas de aprendizaje son bastante similares. Todas ellas soportan conceptos como actividad, entrega o calificación. Sin embargo, también presentan una amplia gama de diferencias entre ellas. Por ejemplo, sus esquemas de bases de datos (repositorios) son diferentes, aunque se refieren a los mismos conceptos. Por lo tanto, las empresas que desarrollan productos auxiliares para sistemas e-learning deben trabajar teniendo presente esta inevitable variabilidad.

Más aún, incluso en el caso de que una empresa o un producto se centre en una única plataforma e-learning, los desarrolladores también tienen que asumir cierta variabilidad inherente al dominio, ya que el diseño de cada proceso de enseñanza-aprendizaje varía en función del profesor y el contenido. Por ejemplo, la gestión de grupos puede ser útil en cursos en los que se proponen actividades colaborativas o en equipo, mientras que es prescindible para cursos orientados al aprendizaje individual.

Además, el entorno en el que estas aplicaciones se despliegan no es siempre el mismo. El entorno también puede establecer algunas variaciones. Por ejemplo, dependiendo del país donde se instalen estas aplicaciones, los datos recogidos de los estudiantes pueden estar afectados por distintas normativas [4].

Por ello, las aplicaciones auxiliares para plataformas e-learning deben personalizarse de acuerdo a las necesidades particulares de cada cliente. En concreto, deben adaptarse a: (1) las diferentes plataformas de aprendizaje; (2) las diferentes estrategias de aprendizaje, temáticas y métodos de aprendizaje, y (3) los diferentes entornos.

Una solución para soportar estos cambios sería que los equipos de desarrollo creasen arquitecturas software flexibles y fácilmente adaptables que permitiesen la fácil y rápida adaptación de las aplicaciones e-learning. No obstante, este proceso de adaptación seguiría siendo manual, lo que se traduce en un proceso tedioso, lento y propenso a errores.

La Ingeniería de Líneas de Producto Software (LPS) [5] tiene como objetivo producir de forma eficiente sistemas software similares. En este paradigma, los productos software concretos se obtienen a partir de un conjunto de

elementos reutilizables, de forma casi automática, mediante el uso de técnicas generativas. Por ello, creemos que el uso de un enfoque de Línea de Productos Software para el desarrollo de aplicaciones auxiliares vinculadas a plataformas e-learning puede ser altamente beneficioso.

Este artículo muestra cómo construir una Línea de Productos Software para una familia de aplicaciones, denominadas *E-learning Web Miner (EIWM)*, cuyo objetivo es extraer conocimiento en forma de reglas y patrones de los datos de actividad almacenados en plataformas e-learning.

Después de esta introducción, este artículo se estructura de la siguiente manera: La sección II presenta nuestro caso de estudio, E-learning Web Miner (EIWM) e introduce los conceptos principales de la Ingeniería de Líneas de Productos Software. La sección III explica cómo construir una LPS para EIWM. La sección IV muestra cómo especificar productos para que sean derivados automáticamente de nuestra LPS. La sección V comenta trabajos relacionados. La sección VI analiza las ventajas y posibles inconvenientes de nuestra propuesta. Finalmente, la sección VII resume el artículo y describe el trabajo futuro.

## II. ANTECEDENTES

Esta sección introduce diversos conceptos que se utilizarán a lo largo de este artículo. En primer lugar, se describe el caso de estudio E-learning Web Miner y a continuación, se comenta brevemente cómo funciona una Línea de Productos Software.

### A. Caso de Estudio: E-learning Web Miner

La falta del contacto visual en los entornos de aprendizaje a distancia conlleva una serie de problemas, recogidos en la literatura, que afectan tanto a profesores como alumnos [6]. Por una parte, los estudiantes se sienten aislados y desorientados en el hiperespacio del curso, perdiendo rápidamente la motivación [7]. Por otro lado, los profesores no disponen de herramientas para realizar un seguimiento adecuado de sus alumnos, de forma que puedan identificar las dificultades que encuentran y conocer su evolución en el curso [8][9].

La aplicación E-learning Web Miner [6], desarrollada en la Universidad de Cantabria, tiene por objeto ayudar a los profesores involucrados en docencia virtual ofreciéndoles información útil que les permita tomar acciones y mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje. Esta información se obtiene aplicando técnicas de minería de datos sobre los datos de actividad almacenados en las plataformas e-learning. Sin embargo, los profesores, en general, carecen de conocimientos de minería de datos. Por ello, uno de los objetivos clave de EIWM es proporcionar una interfaz sencilla y fácil de usar que oculte todos los detalles acerca de las técnicas de minería de datos al usuario final y que presente los resultados de forma amigable y comprensible, de forma que pueda ser utilizada por docentes sin ningún conocimiento sobre minería de datos.

EIWM actualmente ofrece respuestas a tres preguntas: (1) ¿qué tipo de recursos utilizan frecuentemente juntos los alumnos en cada sesión de aprendizaje (por ejemplo, foro, correo)?, (2) ¿cuáles son las características más relevantes de las diferentes sesiones de aprendizaje llevadas a cabo por

los estudiantes?, y (3) ¿cuáles son los perfiles de los estudiantes que se matriculan en el curso?.

A modo de ejemplo, se describe el proceso que sigue para extraer el perfil de estudiante. El objetivo es agrupar a los estudiantes de acuerdo con sus datos demográficos (sexo, edad) y la actividad realizada en un curso específico (por ejemplo, número de sesiones, el promedio de sesiones por semana realizado, etc.). Antes de que comience el proceso de minería (también denominado KDD[10], siglas que refieren al descubrimiento de datos procedentes de bases de datos), los datos de entrada son preprocesados para evaluar su calidad. Por ejemplo, si hay variables altamente correladas o la distribución de valores está poco balanceada éstas se deben eliminar del modelo. A continuación, EIWM utiliza el algoritmo EM (*Expectation Maximization*) combinado con *SimpleKMeans* con el fin de generar los *clusters*, esto es, agrupar a los estudiantes con comportamiento similar y determinar así su prototipo. Sin embargo, en determinadas circunstancias, y como consecuencia de particularidades inherentes de los datos de entrada, algunas variantes del algoritmo *SimpleKMeans*, tales como *xMeans* o *kMedoids*, permitirían construir *clusters* más precisos. En estos casos, *SimpleKMeans* se sustituye por el algoritmo que proporcione mejores resultados.

EIWM utiliza algoritmos implementados por terceros, proporcionados por diferentes suites de minería de datos, tales como Weka [10], KNime [12] o RapidMiner, anteriormente llamado YALE (Yet Another Learning Environment) [13]. EIWM fue diseñada y construida siguiendo los principios de la Arquitectura Orientada a Servicios (SOA) e implementada por medio de Servicios Web [14].

La aplicación EIWM ha sido evaluada por los profesores responsables de dos cursos virtuales impartidos en la Universidad de Cantabria durante 4 cursos académicos, y en su opinión, la herramienta les permite descubrir el comportamiento de sus estudiantes con relación al tiempo invertido y los recursos utilizados en el curso, permitiéndoles validar y refutar las hipótesis establecidas en el diseño del proceso de aprendizaje [14].

### B. Ingeniería de Líneas de Productos Software

Las Líneas de Productos Software tienen como objetivo crear una determinada infraestructura para una eficiente producción de sistemas software altamente similares, pero a su vez distintos entre ellos [5] [15]. Estos sistemas software, al ser similares, comparten un subconjunto de características comunes, aunque también presentan sus propias variantes. Por tanto, el objetivo principal de una Línea de Producto Software es construir, de la forma más automática posible, productos software concretos a partir de la selección de un conjunto de características disponible en la familia de dicho producto.

El proceso de Ingeniería de una Línea de Producto Software consta de dos fases diferentes: la fase de *Ingeniería de Domino* y la fase de *Ingeniería de Aplicaciones* (véase la Figura 1).

La *Ingeniería de Dominio* se encarga de la creación de la infraestructura que permitirá una rápida, o incluso automática, construcción de sistemas software concretos y similares. Dicho en otras palabras, esta fase crea una

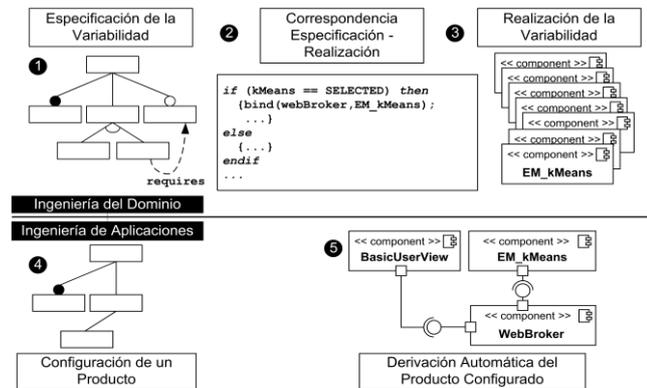


Fig. 1. Proceso de Ingeniería de Líneas de Productos Software.

especie de cadena de montaje que puede configurarse fácilmente para generar automáticamente productos software concretos con un conjunto de características determinadas, como si de una línea de montaje industrial se tratase.

La *Ingeniería de Aplicaciones* se encarga de la generación de productos concretos utilizando la infraestructura previamente creada en la *Ingeniería de Dominio*. Los pasos específicos dentro de cada fase se detallan en las siguientes secciones del artículo.

La fase de *Ingeniería de Dominio* se ejecuta una sola vez para una familia de productos software, mientras que, la fase de *Ingeniería de Aplicaciones* se ejecuta cada vez que deseamos construir un nuevo producto dentro de dicha familia. Por tanto, cuanto menor sea el coste de la fase de *Ingeniería de Aplicaciones*, mayores serán los beneficios que se obtengan.

Esta idea se ilustra en la Figura 2. La gráfica representa un ejemplo prototipo y ficticio de cómo el coste acumulado para un conjunto de productos software similares crece conforme se van creando nuevos productos. Si no utilizamos un enfoque de Líneas de Productos Software, primero desarrollaríamos un producto software concreto. Cuando se necesitara desarrollar un segundo producto, podríamos reutilizar ciertos elementos del primer producto, aunque tendríamos que modificar dichos elementos de forma manual. Además, podríamos necesitar desarrollar nuevos componentes para este segundo producto software. En cualquier caso, gracias a la reutilización, el coste de la construcción del segundo producto software sería menor que el de primer producto, y así sucesivamente. Por tanto, y como se puede observar en la Figura 2, el coste crecería a ritmo constante después del primer producto.

En el caso de utilizar el enfoque de Líneas de Productos Software, se requiere una mayor inversión inicial para crear la infraestructura de la *Ingeniería de Dominio*, es decir, la cadena de montaje que va a ensamblar nuestros productos. No obstante, si la generación de productos concretos se hace prácticamente de forma automática, el coste de desarrollo de cada producto decrece notablemente, por lo que el coste de desarrollo acumulado crece muy lentamente, siendo casi constante.

Habrà un momento (el corte de las rectas en la Figura 2) a partir del cual el coste acumulado del enfoque de Línea de Productos Software será menor, punto a partir del cual recuperaremos la inversión realizada y el enfoque de Líneas de Productos Software comenzará a producir beneficios. Por tanto, lo ideal en una Línea de Productos Software es

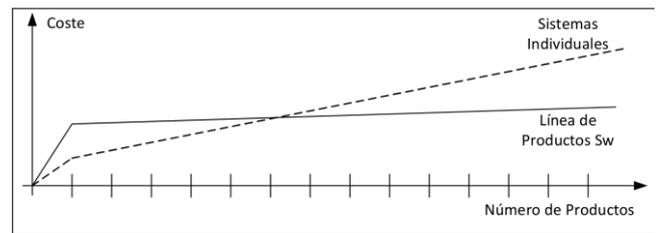


Fig. 2. Coste-beneficio de una Línea de Productos Software

que la fase de *Ingeniería de Aplicación* esté lo más automatizada posible. En el mejor de los casos, el usuario tendría simplemente que especificar qué características desea incluir en un determinado producto y este producto se generaría automáticamente.

En las siguientes secciones se describe cómo este enfoque se ha utilizado para refactorizar la aplicación EIWM en una Línea de Productos Software. Además, remarcamos los beneficios obtenidos.

### III. INGENIERÍA DE DOMINIO

Esta sección describe cómo se ha llevado a cabo la fase de *Ingeniería de Dominio* al refactorizar EIWM en una Línea de Producto Software. Esta fase se realiza en tres pasos que se describen a continuación.

#### A. Análisis de Variabilidad

El primer paso de cara a construir una Línea de Producto Software consiste en llevar a cabo un análisis de variabilidad inherente a la familia de productos software que queremos cubrir (Figura 1, etiqueta 1). El objetivo es identificar cuáles son las características de esta familia que han de aparecer siempre, es decir, son obligatorias; cuáles son opcionales y cuáles son alternativas. Para realizar esta tarea, existen multitud de técnicas, como por ejemplo FODA (*Featured-Oriented Domain Analysis*) [16]. Usando FODA obtuvimos nuestro modelo de características.

Un modelo de características es un árbol donde cada nodo representa una característica del sistema. Los hijos de un nodo representan las diferentes características que son parte del nodo padre. Existen numerosos tipos de relaciones padre-hijo, dependiendo, por ejemplo, de si el hijo es una característica opcional. La raíz de este árbol es el sistema en sí mismo, el cual se ramifica en sus características más destacadas. A su vez, estas características se descomponen en sus respectivas subcaracterísticas, hasta que el sistema está completamente descrito.

Por motivos de espacio, es imposible mostrar el modelo de características completo. Por ello, en la Figura 3 se muestra una parte del modelo de características que hemos construido para EIWM. Este modelo especifica que EIWM tiene tres características principales: (1) la plataforma e-learning que usa (*Platform*); (2) el tipo de consulta que pueden ser desplegadas en una instalación concreta (*Queries*); y (3) el software de minería de datos utilizado (*DataMining Suite*).

La plataforma (*Platform*) puede ser WebCT o Moodle, pero no ambas al mismo tiempo, dado que estas características son exclusivas entre ellas. EIWM precisa de un software externo de minería de datos para funcionar. Las tres diferentes posibilidades son: (1) Weka, (2) Knime o (3) RapidMiner. El software seleccionado dependerá de los algoritmos utilizados para realizar las consultas.

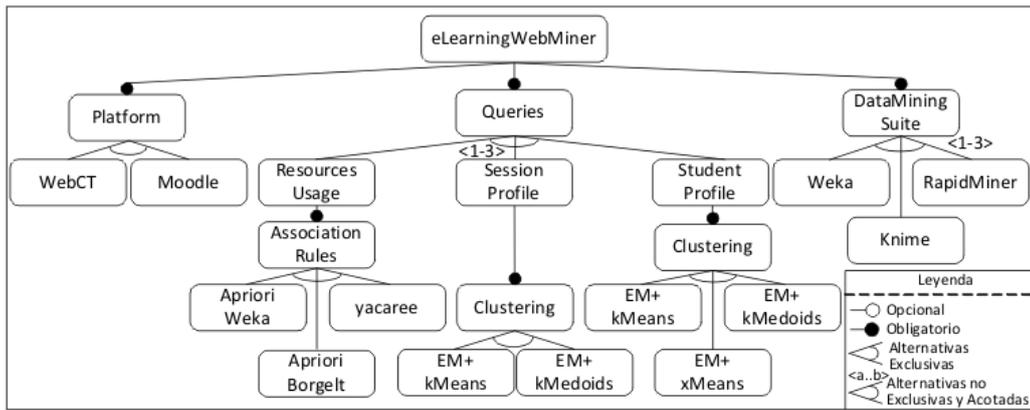


Fig. 3. Modelo de características para EIWM.

EIWM puede dar respuesta a tres consultas, *Resources Usage*, *SessionProfile* y *StudentProfile*. De acuerdo con las necesidades del usuario, algunas consultas pueden ser excluidas de una instalación específica. Por tanto, cada una de estas consultas es una característica opcional, de las que al menos deberá una ser elegida.

Cada consulta puede ser contestada utilizando diferentes versiones de una misma técnica de minería de datos. Por ejemplo, para responder a la pregunta “¿Qué tipos de sesiones existen en el curso?” (*SessionProfile*), EIWM puede utilizar alguna de las técnicas de clustering disponibles, como *Kmeans* o *Kmedoids*. Del mismo modo, existen diferentes alternativas para las consultas *ResourceUsage* y *StudentProfile*.

Para terminar, hemos de tener en cuenta que no todas las relaciones existentes entre las características se pueden expresar usando la sintaxis propia de los modelos de características. Por ejemplo, el algoritmo *kMedoids* sólo está disponible si utilizamos el software de minería de datos *RapidMiner*. Por tanto, si queremos utilizar *kMedoids*, es necesario seleccionar también la característica *RapidMiner*. Estas restricciones se expresan normalmente utilizando fórmulas proposicionales donde los átomos de dichas fórmulas son las características. Un átomo es evaluado como verdadero cuando la correspondiente característica se ha seleccionado. En caso contrario, se evalúa a falso.

La Figura 4 muestra las restricciones externas que nosotros hemos definido para especificar el modelo de características de EIWM. Estas restricciones representan las dependencias entre los algoritmos de minería de datos y el software de minería de datos que implementa dichos algoritmos.

Una vez analizada y especificada la variabilidad de una familia de productos software, el siguiente paso consiste en diseñar una arquitectura software flexible que soporte las diferentes variaciones identificadas (Figura 1, etiqueta 3). En la siguiente sección explicamos cómo se satisfizo dicho objetivo en nuestro caso.

**B. Diseño de la Arquitectura de Referencia**

La Figura 5 muestra la arquitectura de referencia diseñada para EIWM. Se trata de un diseño basado en componentes que puede ser fácilmente reconfigurado atendiendo así a las necesidades que cada cliente necesita.

EIWM se ha diseñado e implementado como una aplicación web. Al usuario final se le ofrecen diferentes

formularios HTML (Figura 5, etiqueta 1) a través de los cuales envía peticiones al servidor en formato HTTP (Figura 5, etiqueta 2) para dar respuesta a diferentes consultas. Estas peticiones las recibe y procesa el componente que contiene la lógica principal del sistema (Figura 5, etiqueta 3).

Dicho componente es además el responsable de extraer los datos de la plataforma e-learning que sean necesarios para realizar el análisis. Para aislar la extracción de los datos de las particularidades de cada plataforma, los datos se extraen utilizando una interfaz que abstrae los detalles de cada plataforma (Figura 5, Etiqueta 4). Por cada plataforma e-learning existe un componente software que implementa esta interfaz para dicha plataforma (Figura 5, etiqueta 5).

Utilizando los datos extraídos, el componente central ejecuta un proceso KDD predefinido para computar y responder a la consulta realizada por el usuario (Figura 5, etiqueta 6). Dicho proceso KDD utiliza diferentes algoritmos de minería de datos, proporcionados por diferentes suites de minería de datos. El proceso KDD devuelve los resultados al componente central en formato plano. Estos datos planos se procesan en las páginas web dinámicas (Figura 5, etiqueta 7) de forma que se puedan visualizar de forma amigable y comprensible para el usuario, por ejemplo, mediante diagramas de barras.

Esta arquitectura soporta la variabilidad especificada por el modelo de características descrito en la sección anterior. Por ejemplo, la arquitectura puede modificar la plataforma de aprendizaje utilizada simplemente seleccionando el tipo de componente adaptador adecuado.

Esta arquitectura de referencia no es la arquitectura concreta para ningún producto y, como tal, no es ni operativa ni desplegable. Para poder usar esta arquitectura se necesita instanciar de acuerdo con la selección de características establecida por cada cliente. Por ejemplo, si un cliente no usa la plataforma WebCT, deberemos eliminar de la arquitectura el correspondiente adaptador. Este proceso de configuración es el que se debe automatizar si se quiere que la Línea de Productos Software produzca beneficios.

- 1 EM+kMedoids **implies** RapidMiner
- 2 Apriori Weka **implies** Weka
- 3 EM+xMeans **implies** Weka
- 4 yacaree **implies** Knime

Fig. 4. Restricciones externas del modelo de características para EIWM.

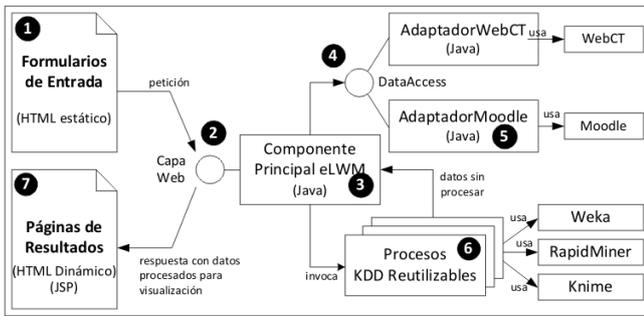


Fig. 5. Arquitectura de referencia para EIWM

La siguiente sección describe cómo se definen las reglas que especifican como instanciar una arquitectura de acuerdo a una serie de características seleccionadas.

C. Automatizando el Proceso de Instanciación de una Arquitectura de Referencia

Como hemos comentado anteriormente, el principal objetivo de una Línea de Productos Software es que, una vez seleccionadas las características que queremos incluir en un producto determinado, la construcción de dicho producto se realice lo más automáticamente posible. Para alcanzar este objetivo, el último paso es especificar qué acciones deben realizarse sobre nuestra arquitectura de referencia, para adaptarla a un conjunto determinado de características (Figura 1, etiqueta 2).

Por ejemplo, la Figura 6, muestra el formulario web que un usuario utilizaría para lanzar las consultas en un producto en el cual se deseasen incluir los tres tipos de consultas. Si en otro producto concreto no deseásemos incluir, por ejemplo, la consulta sobre el perfil de las sesiones, deberíamos eliminar esa parte tanto de la interfaz gráfica como de la lógica de la aplicación.

Estas modificaciones se pueden realizar parametrizando los diversos artefactos que componen EIWM mediante plantillas de generación de código. Estas plantillas permiten especificar si una cierta porción de código aparecerá en una versión final del artefacto o no, en función de los valores asignados a unos ciertos parámetros de entrada. En nuestro caso, dichos parámetros de entrada serán el conjunto de características que queremos incluir en un producto concreto. Estas plantillas de generación de código se han implementado utilizando el lenguaje *Epsilon* [17].

La Figura 7 muestra parte de la plantilla de generación de código que parametriza el formulario web de la Figura 6. Su funcionamiento es similar al de una página JSP. El código entre los códigos de escape [% y %] es código en *Epsilon* que regula el texto que se produce como resultado de la ejecución de la plantilla.

Por ejemplo, la línea 2 de la Figura 7 especifica que, si dentro del árbol de características, la característica *SessionProfile* ha sido seleccionada (*featureModel.isSelected("SessionProfile")*), entonces el código HTML de las líneas 2 y 3, correspondiente al botón "Herramientas que se usan juntas" debe incluirse en una versión concreta de este artefacto. Si no, dicho botón no aparecerá en el formulario.

Mediante plantillas de generación de código se parametrizan tanto la parte de la interfaz web como de la



Fig. 6. Formulario HTML para realizar consultas

```

1 ...
2 [% if featureModel.isSelected("SessionProfile") { %]
3 <input id="demo" name="queryKind" value="Session"
type="radio" />
4 Perfil de sesiones
5 [% } %]
6 [%if featureModel.isSelected("StudentProfile") { %]
7 <input id="demo" name="queryKind" value=" Student"
type="radio" />
8 Perfil de alumnos
9 [% } %]
10 [%if featureModel . isSelected ( "ResourceUsage" ) { %]
11 < input id="demo" name="queryKind" value=" Resources"
type="radio" />
12 Herramientas que se usan juntas
13 [% } %]
14 ...
    
```

Fig.7. Plantilla para la generación de páginas HTML personalizadas lógica interna de la aplicación y de los componentes de acceso a datos.

Tras este último paso, la fase de *Ingeniería de Dominio* finaliza. Como resultado de esta fase, no se tiene ningún artefacto concreto que se pueda desplegar. Para ello, tendremos que seleccionar un conjunto de características determinadas y utilizar este como entrada de las plantillas de generación de código, las cuales producirán el conjunto de artefactos que sí desplegaremos. Dicho proceso se describe en el siguiente apartado.

IV. INGENIERÍA DE APLICACIONES

La fase de *Ingeniería de Aplicaciones* (Figura 1, parte inferior), cuyo objetivo es la construcción de productos software concretos y operativos, se compone de dos etapas diferenciadas: (1) la creación de una configuración que indique las características del árbol creado en la fase de *Ingeniería de Dominio* que van a ser seleccionadas; (2) la ejecución del proceso automático que construye el software específico mediante la ejecución de las reglas pertinentes. Ambas etapas se explican a continuación.

A. Configuración del Producto

Esta fase tiene por objeto determinar el conjunto de características que mejor satisfacen las necesidades de un cliente concreto. En nuestro caso, esta fase precisa de dos actores diferentes: el usuario final y un experto en minería de datos que asistirá a dicho cliente en el proceso de configuración.

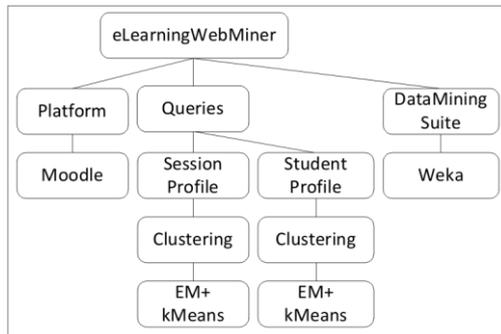


Fig. 8. Configuración del modelo de características para el curso “Estructuras de Datos”

El cliente deberá especificar la plataforma e-learning que utiliza su organización así como las consultas que quiere incluir. El experto en minería de datos deberá analizar las características de las fuentes de datos para determinar los algoritmos más adecuados para procesar las consultas elegidas.

La Figura 8 muestra un ejemplo de configuración del modelo de características. Esta configuración corresponde a una instalación de EIWM para un curso de “*Estructuras de Datos*” alojado en Moodle. Por tanto, la característica *Moodle* aparece seleccionada y *WebCT* descartada. Debido a las características de este curso, la consulta correspondiente a *ResourcesUsage* no era de interés y se descartó. Para las consultas *StudentProfile* y *SessionProfile*, de acuerdo con la opinión del experto en minería de datos, la mejor opción eran los algoritmos *EM+kMeans*, y por ello seleccionamos esta característica. En cuanto a la implementación de estos algoritmos, se escogió la de la suite *Weka*.

Una vez creada la configuración del modelo de características, la validamos. Esto es, comprobamos que no se incumplía ninguna restricción externa. Esta configuración válida se utiliza como entrada para las plantillas de generación de código, tal como se describe en el siguiente apartado.

### B. Derivación Automática del Producto

La construcción de un producto personalizado a partir de un modelo de configuración válido es realmente simple, gracias a la automatización que proporcionan las técnicas de generación de código. Basta con indicar la configuración que queremos utilizar, y las plantillas de generación de código producirán un conjunto de artefactos software personalizados de acuerdo a las características indicadas. Dichos artefactos software ya si son completamente operativos y están listos para su despliegue.

## V. TRABAJOS RELACIONADOS

Hasta donde sabemos, no existe otra Línea de Productos Software que permita extraer conocimiento de los datos almacenados en las plataformas e-learning como la que hemos presentado en este artículo. Esto era de esperar por tratarse de un dominio muy concreto. Por ello, analizamos trabajos previos que: (1) hayan usado ingeniería de Líneas de Productos Software en el dominio e-learning; (2) hayan usado ingeniería de Líneas de Productos Software para aplicaciones e-learning; o (3) usen técnicas de minería de datos en dominios e-learning.

Respecto del primer punto, Oberweis et al. [18] y Pankratius y Stucky [19] usaron ingeniería de Líneas de Productos Software para mejorar la reusabilidad y el

mantenimiento de los contenidos de los cursos virtuales alojados en una plataforma e-learning. En este caso, las variaciones se referían a los diferentes materiales incluidos en una familia de cursos. Por tanto, para crear un curso específico, el instructor debía seleccionar los temas que quería incluir y el material de ese curso se generaba automáticamente. Esta es una inteligente solución refuerza que nuestra hipótesis de que la ingeniería de Líneas de Productos Software tiene grandes posibilidades de aplicación en el dominio e-learning, incluso en áreas no directamente relacionadas con el desarrollo de software.

Sierra et al. [20] y Martínez-Ortiz et al. [15] proponen un trabajo similar al nuestro, pero desde un punto de vista diferente. Su principal objetivo es construir lenguajes específicos de dominio, utilizando un proceso claramente definido de ingeniería de lenguajes de dominio. El objetivo es que los propios instructores, utilizando estos lenguajes, puedan desarrollar ellos mismo ciertos aspectos de una aplicación e-learning, como la especificación del flujo y las actividades de aprendizaje [15]. Estos lenguajes alimentarían una serie de generadores de código que producen las aplicaciones de e-learning deseadas [20]. Aunque este trabajo es similar a nuestra propuesta, difiere del nuestro en algunos puntos. Mientras que la Ingeniería de Líneas de Productos Software tiene como objetivo mejorar la productividad en el desarrollo de sistemas de software similares, los enfoques basados en lenguajes específicos de dominio están más orientadas a incrementar el nivel de abstracción con el cual se desarrollan las aplicaciones software, permitiendo así que los usuarios finales puedan involucrarse en ciertas partes del proceso de producción. Ambas propuestas son complementarias. Podría, por ejemplo, utilizarse una Línea de Productos Software para controlar las variaciones existentes un proceso de aprendizaje diseñado mediante un lenguaje de dominio específico.

Díez et al. [21] utilizan árboles de características para analizar y clasificar servicios software para la construcción de aplicaciones e-learning. No obstante, sólo utilizan los árboles de características como mecanismos para caracterización, no como mecanismos de configuración para la construcción automática de software. Por otro lado, Zhou et al [23] proponen una arquitectura de referencia, con un cierto grado de modularidad y flexibilidad, para el desarrollo de aplicaciones e-learning. Esta arquitectura podría ser utilizada como base para la construcción de una Línea de Productos Software de plataformas e-learning, reforzando así la utilidad de este paradigma de programación.

Como hemos mencionado, este es el primer trabajo que implementa una aplicación de minería de datos siguiendo un enfoque de Línea de Productos Software. Así pues, podemos decir que hemos puesto la primera piedra en este camino. Nos gustaría resaltar que el dominio de minería de datos es también un campo con una amplia cantidad de variabilidad. Por ejemplo, existen muchos algoritmos similares pero ligeramente diferentes entre ellos. Cada algoritmo produce resultados más precisos o que tiene un mejor rendimiento bajo determinadas condiciones. Por tanto, la utilización de las Línea de Productos Software para el desarrollo de aplicaciones de minería de datos parece una idea en principio atractiva.

Respecto del último punto, debemos mencionar dos trabajos que detallan y resumen la aplicación de la minería

de datos en el campo educativo: Romero y Ventura [24] y Castro et al. [25]. El objetivo de estas aplicaciones se dirige, en general, a mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje y a reducir la alta incidencia de abandono que ocurre en los cursos virtuales. Por ejemplo, Hung et al. [26] analizan varios patrones de comportamiento en cursos online para realizar predicciones sobre el abandono. Uneno et al. [27] envían mensajes a los estudiantes con objeto de mejorar su rendimiento en el curso. Obsivac et al. [28] predicen los abandonos y fracasos escolares a partir de datos de actividad de los estudiantes enriquecidos con los datos derivados de su comportamiento social. Zhang et al. [29] personalizan recomendaciones sobre los contenidos de aprendizaje de acuerdo al estilo de aprendizaje y hábitos de uso de la Web, o trabajos como los realizados por dos de los autores de este artículo [30][31] cuyo principal objetivo se centra en el desarrollo de herramientas de minería de datos amigables y fáciles de usar que ayuden a los profesores a descubrir cómo se desarrolla el proceso de aprendizaje y a analizar la efectividad de la organización del diseño del curso (diseño, tareas, recursos utilizados, etc.) de manera que se puedan tomar acciones correctivas tan pronto como se detecten los problemas.

## VI. DISCUSIÓN

Este artículo ha explicado cómo se puede construir una Línea de Productos Software para el desarrollo de familias de productos e-learning. Concretamente, hemos creado una línea de productos software para la aplicación EIWM, con el objeto de ilustrar con un ejemplo cómo la Ingeniería de Líneas de Productos Software puede resultar beneficiosa en el desarrollo de aplicaciones asociadas a las plataformas de aprendizaje.

Como hemos comentado a lo largo de este artículo, una Línea de Productos Software produce beneficios si: (1) se espera construir un cierto número de productos a partir de ella; y (2) el coste de construcción de estos productos, es decir, de la ejecución de la fase de *Ingeniería de Aplicaciones*, es lo más reducido posible.

Respecto al segundo punto, en nuestro caso, una vez obtenida y validada una configuración que se adapte a las necesidades de un instructor de un curso completo, la obtención de los artefactos necesarios para desplegar la aplicación se hace de forma totalmente automática. Por tanto, el coste de la fase de *Ingeniería de Aplicaciones* es prácticamente nulo.

Utilizando la infraestructura descrita en este artículo, hemos generado diferentes versiones de EIWM de acuerdo a las necesidades de distintos cursos virtuales sin producirse ningún tipo de problema.

No obstante, nos gustaría remarcar que una Línea de Productos Software proporciona beneficios cuando se espera construir un cierto número de aplicaciones similares pero con ligeras diferencias entre ellas. Si se piensa en desarrollar únicamente un par de aplicaciones similares, utilizar este enfoque no será probablemente de utilidad.

En nuestro caso, debido a la gran cantidad de instituciones educativas existentes en todo el mundo, cada una con sus propias particularidades y necesidades, creemos firmemente que la adopción del enfoque de Líneas de Productos Software está justificada y es muy recomendable para el desarrollo de aplicaciones auxiliares vinculadas a plataformas de aprendizaje.

## VII. RESUMEN Y CONCLUSIONES FINALES

En este trabajo se ha ilustrado por medio de un ejemplo cómo la Ingeniería de Líneas de Productos Software puede ayudar al desarrollo de aplicaciones auxiliares para plataformas e-learning. Hemos utilizado como caso de estudio una aplicación de minería de datos, llamada E-learning Web Miner, que analiza los datos de actividad registrados en las plataformas de aprendizaje. Esta herramienta fue desarrollada en 2010 por dos de los autores de este trabajo y ahora, se ha reconvertido en una Línea de Productos Software.

La principal ventaja de la adopción del enfoque de Línea de Productos Software es que el proceso de adaptación del producto, con el fin de que encaje con los requisitos particulares de un cliente concreto, se lleve a cabo prácticamente sin coste, ya que este proceso se realiza automáticamente. Además, como el proceso de adaptación lo ejecuta un computador, también se evitan errores humanos, asegurando la calidad del producto y evitando los costes adicionales asociados a la resolución de dichos errores.

Para evaluar nuestra propuesta, se implementaron automáticamente varias configuraciones de la aplicación EIWM para distintos cursos utilizando la Línea de Productos Software construida.

Como trabajo futuro, añadiremos más características a esta Línea de Productos Software, y construiremos más componentes para visualizar de forma amigable los resultados de las consultas. Asimismo, estamos trabajando en nuevas e interesantes consultas para profesores implicados en docencia virtual como por ejemplo, predecir si los estudiantes suspenderán o aprobarán el curso de acuerdo a la actividad realizada en él [31], así como en el desarrollo de herramientas que nos ayuden a automatizar el proceso KDD [32].

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Universidad de Cantabria a través de una beca de doctorado, por el proyecto TIN2008-01942/TIN del Ministerio de Ciencia y Tecnología de España y por el proyecto regional TIC-5131 de la Junta de Andalucía.

## REFERENCIAS

- [1] P. Brusilovsky and E. Millán, "The adaptive web," P. Brusilovsky, A. Kobsa, and W. Nejdl, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2007, ch. User models for adaptive hypermedia and adaptive educational systems, pp. 3–53.
- [2] L. Stefani, R. Mason, and C. Pegler, *The Educational Potential of e-Portfolios*. Routledge, June 2007.
- [3] E. M. Murphy, *Mahara 1.4 Cookbook*. Packt Publishing, September 2011.
- [4] P. Carey, *Data Protection: A Practical Guide to UK and EU Law*, 2nd ed. Oxford University Press, March 2009.
- [5] A. Rashid, J.C. Royer, and A. Rummler, Eds., *Aspect-Oriented Model-Driven Software Product Lines*. Cambridge University Press, 2011.
- [6] M. E. Zorrilla and D. García-Saiz, *Business Intelligence Applications and the Web: Models, Systems and Technologies*. Information Science Reference (IGI Global Publishers), September 2011, ch. Mining Service to Assist Instructors involved in Virtual Education.
- [7] R. Mazza and V. Dimitrova, "Coursevis: A graphical student monitoring tool for supporting instructors in web-based distance courses." *International Journal of Machine Studies*, vol. 65, no. 2, pp. 125–139, 2007.

- [8] L. P. Macfadyen and S. Dawson, "Mining LMS data to develop an early warning system for educators: A proof of concept," *Computers & Education*, vol. 54, no. 2, pp. 588–599, 2010.
- [9] R. Hijon and A. Velazquez, "E-learning platforms analysis and development of students tracking functionality," in *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications*, E. P. P. B. (Eds.), Ed., Chesapeake, VA: AACE, 2006, pp. 2823–2828.
- [10] U. M. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro, and P. Smyth, "Advances in Knowledge Discovery and Data Mining," U. M. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro, P. Smyth, and R. Uthurusamy, Eds. Menlo Park, CA, USA: American Association for Artificial Intelligence, 1996, ch. From data mining to knowledge discovery: an overview, pp. 1–34.
- [11] I. H. Witten, E. Frank, M. A. Hall, and G. Holmes, *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*, 3rd ed. Morgan Kaufmann, February 2011.
- [12] M. R. Berthold, N. Cebon, F. Dill, T. R. Gabriel, T. Kötter, T. Meinl, P. Ohl, C. Sieb, K. Thiel, and B. Wiswedel, "KNIME: The Konstanz Information Miner," in *Proc. of the 31st Conference of the Gesellschaft für Klassifikation*, ser. *Studies in Classification, Data Analysis, and Knowledge Organization*, C. Preisach, H. Burkhardt, L. Schmidt-Thieme, and R. Decker, Eds., Freiburg (Germany), March 2008, pp. 319–326.
- [13] I. Mierswa, M. Wurst, R. Klinkenberg, M. Scholz, and T. Euler, "YALE: Rapid Prototyping for Complex Data Mining Tasks," in *Proc. of the 12th International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD)*, Philadelphia (Pennsylvania, USA), August 2006, pp. 935–940.
- [14] M. Zorrilla and D. García-Saiz, "A service oriented architecture to provide data mining services for non-expert data miners," *Decision Support Systems*, vol. 1, no. 0, pp. –, 2012.
- [15] K. Pohl, G. Böckle, and F. J. van der Linden, *Software Product Line Engineering: Foundations, Principles and Techniques*. Springer, October 2005.
- [16] K. C. Kang, S. G. Cohen, J. A. Hess, W. E. Novak, and A. S. Peterso, "Feature-Oriented Domain Analysis (FODA) Feasibility Study," *Software Engineering Institute (SEI)*, Carnegie Mellon University, Technical Report CMU/SEI-90-TR-21, November 1990.
- [17] L. M. Rose, R. F. Paige, D. S. Kolovos, and F. Polack, "The Epsilon Generation Language," in *Proc. of the 4th European Conference on Model Driven Architecture - Foundations and Applications (ECMDAFA)*, ser. *Lecture Notes in Computer Science*, I. Schieferdecker and A. Hartman, Eds., vol. 5095, Berlin (Germany), June 2008, pp. 1–16.
- [18] A. Oberweis, V. Pankratius, and W. Stucky, "Product Lines for Digital Information Products," *Information Systems*, vol. 32, no. 6, pp. 909–939, November 2007.
- [19] V. Pankratius and W. Stucky, "A Strategy for Content Reusability with Product Lines Derived from Experience in Online Education," in *Software Education and Training Sessions, International Conference on Software Engineering (ICSE)*, ser. *Lecture Notes in Computer Science*, P. Inverardi and M. Jazayeri, Eds., vol. 4309, St. Louis (Missouri, USA), May 2005, pp. 128–146.
- [20] J. L. Sierra, A. Fernández-Valmayor, and B. Fernández-Manjón, "From Documents to Applications Using Markup Languages," *IEEE Software*, vol. 25, pp. 68–76, March/April 2008.
- [21] I. Martínez-Ortiz, J. L. Sierra, B. Fernández-Manjón, and A. Fernández-Valmayor, "Language Engineering Techniques for the Development of e-Learning Applications," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 32, no. 5, pp. 1092–1105, September 2009.
- [22] D. Díez, A. Malizia, I. Aedo, P. Díaz, C. Fernández, J. M. Dodero. "A Methodological Approach to Encourage the Service-Oriented Learning Systems Development". *Educational Technology & Society* 12(4): 138-148 (2009)
- [23] D. Zhou, Z. Zhang, S. Zhong y P. Xie. "The Design of Software Architecture for E-Learning Platforms" en *Proc. of 3<sup>rd</sup> Int. Conference on Technologies for E-Learning and Digital Entertainment (Edutainment)*, Z. Pan, X. Zhang, A. El Rhalibi, W. Woo y Y. Li (Eds) LNCS 5093:32-40, Nanjing (China), June 2008.
- [24] C. Romero and S. Ventura, "Educational Data Mining: A Review of the State-of-the-Art," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, part C: Applications and Reviews*, vol. 40, no. 6, pp. 601–618, 2010.
- [25] F. Castro, A. Vellido, Ángela Nebot, and F. Múgica, "Applying Data Mining Techniques to e-Learning Problems," in *Evolution of Teaching and Learning Paradigms in Intelligent Environment*, ser.

- Studies in Computational Intelligence*, J. Kacprzyk, L. Jain, R. Tedman, and D. Tedman, Eds. Springer, 2007, vol. 62, pp. 183–221.
- [26] J.L. Hung and K. Zhang, "Revealing Online Learning Behaviors and Activity Patterns and Making Predictions with Data Mining Techniques in Online Teaching," *Journal of Online Learning and Teaching*, vol. 8, no. 4, pp. 426–436, December 2008.
- [27] M. Ueno and T. Okamoto, "Bayesian Agent in e-Learning," in *Proc of the 7th. Int. Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, Niigata (Japan), July 2007, pp. 282–284.
- [28] T. Obsivac, L. Popelinsky, J. Bayer, J. Geryk, and H. Bydzovska, "Predicting drop-out from social behaviour of students," in *EDM*, K. Yacef, O. R. Zaïane, A. Hershkovitz, M. Yudelson, and J. C. Stamper, Eds. [www.educationaldatamining.org](http://www.educationaldatamining.org), 2012, pp. 103–109.
- [29] L. Zhang, X. Liu, and X. Liu, "Personalized instructing recommendation system based on web mining," in *Proceedings of the 2008 The 9th International Conference for Young Computer Scientists*, ser. *ICYCS '08*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2008, pp. 2517–2521.
- [30] D. García-Saiz and M. Zorrilla, "E-learning Web Miner: A Data Mining Application to Help Instructors Involved in Virtual Courses," in *Proc. Of the 4th Int. Conference on Educational Data Mining (EDM)*, ser. *Lecture Notes in Computer Science*, M. Pechenizkiy, T. Calders, C. Conati, S. Ventura, C. R. J., and Stamper, Eds., Eindhoven (The Netherlands), July 2011, pp. 323–324.
- [31] D. García-Saiz and M. Zorrilla, "A promising classification method for predicting distance students' performance," in *Proceedings of 5th International Conference on Educational Data Mining*, 2012, pp. 206–207.
- [32] R. Espinosa, D. García-Saiz, J. J. Zubcoff, J. Mazón, and M. Zorrilla, "Towards the development of a knowledge base for realizing userfriendly data mining," in *Proceedings of the 6th Metadata and Semantics Research Conference*, 2012.



**Pablo Sánchez Barreiro** es Ingeniero en Informática (2004) y Doctor Ingeniero en Informática (2009) por la Universidad de Málaga (España). Desde Diciembre de 2009 trabaja en el Departamento de Matemáticas, Estadística y Computación de la Universidad de Cantabria, donde es actualmente Profesor Contratado Doctor. Sus líneas de investigación se centran en las Líneas de Productos Software, el Desarrollo Software Dirigido por Modelos y, en menor grado, en el Desarrollo Software

Orientado a Aspectos. Como investigador ha participado en diversos proyectos de investigación, tanto nacionales como internacionales, entre los que destacan AMPLE y AOSD-Europe. Sus trabajos pueden encontrarse publicados en revistas y congresos de relevancia tales como MoDELS, SLE o el Information Software Technology. En el ámbito docente, ha participado en diferentes trabajos y proyectos relacionados con la innovación docente, cuyos resultados han sido publicados en congresos tanto nacionales como internacionales.



**Diego García-Saiz** es Ingeniero en Informática (2010) y está en su segundo año de doctorado financiado por la Universidad de Cantabria. Su campo de investigación actual es la minería de datos aplicada al contexto educativo. Tiene diversas publicaciones en este campo destacando su artículo en la revista *Decision Support Systems*. Otros campos de interés son la Ingeniería de Software y las Bases de Datos.



**Marta Elena Zorrilla Pantaleón** es Ingeniero de Telecomunicación (1994) y Doctor Ingeniero de Telecomunicación (2001) por la Universidad de Cantabria (España). Desde 1995 es profesora de la Universidad de Cantabria, y en la actualidad ocupa el puesto de Profesor Contratado Doctor en el Área de Lenguajes y Sistemas Informáticos. Ha participado y dirigido más de 20 proyectos de investigación, la mayoría de ellos con empresas. Tiene más de 50 trabajos publicados entre libros, capítulos de libro, revistas y congresos. Es una revisora activa de revistas y conferencias internacionales (DSS, JSS, IJCSA, IEEE-Trans. Education, etc.). Sus líneas principales de investigación son en el diseño y desarrollo de sistemas de información y de sistemas inteligentes; y, dentro del ámbito educativo, la evaluación y mejora de los procesos de enseñanza-aprendizaje aplicando técnicas de minería de datos.

# Desarrollo de Soluciones para E-Learning: Diferentes Enfoques, un Objetivo Común

Juan-Manuel Dodero, Francisco-José García-Peñalvo, Carina González, Pablo Moreno-Ger, Miguel-Ángel Redondo, Antonio Sarasa, y José-Luis Sierra

**Title—Development of E-Learning Solutions: Different Approaches, a Common Mission**

**Abstract—** As result of the discussions maintained at the Panel Session on “Software Development for E-Learning” of the 3<sup>rd</sup> Workshop on Software Engineering for E-Learning (ISELEAR’12), several points of view emerged regarding the conception, development and maintenance of E-Learning solutions. This paper summarizes and confronts these points of view: automated approaches, combination of different methodologies, emphasis on human and social aspects, domain-specific development approaches, model-driven / language-driven development and system integration approaches, and grammar-oriented development. While these points of view support different approaches to the engineering process, all of them share a common goal: to facilitate the development of complex E-Learning applications and solutions by multidisciplinary teams of software developers, instructors, domain experts, students and final users.

**Index Terms—** Software Engineering, E-Learning

## I. INTRODUCCIÓN

UNA de las sesiones más activas de la pasada tercera edición del Taller de Ingeniería del Software en E-Learning (ISELEAR’12) fue la sesión de la mesa redonda sobre “Desarrollo de Software para E-Learning”. Esta sesión reunió a varios investigadores reconocidos de la comunidad española de E-Learning, que tuvieron la oportunidad de exponer sus puntos de vistas acerca de cómo conciben, desarrollan, mantienen y explotan sus desarrollos en E-Learning. Estos puntos de vista, que ya fueron resumidos en [17], aunque son heterogéneos, coinciden en considerar que la tarea de desarrollar con éxito un sistema E-Learning es complicada, y que es necesaria la participación activa en el proceso de desarrollo de diferentes actores, tales como

Juan-Manuel Dodero pertenece al grupo de investigación SPI&FM de la Universidad de Cádiz (email: juanma.dodero@uca.es)

Francisco-José García-Peñalvo es Director del grupo de investigación GRIAL de la Universidad de Salamanca (email: fgarcia@usal.es).

Carina González pertenece a la Universidad de La Laguna (cgonza@ull.es).

Pablo Moreno-Ger pertenece al grupo de investigación e-UCM de la Universidad Complutense de Madrid (email: pablom@fdi.ucm.es).

Miguel-Ángel Redondo pertenece al grupo de investigación CHICO de la Universidad de Castilla La Mancha (email: Miguel.Redondo@uclm.es)

Antonio Sarasa Cabeuelo pertenece al Grupo de Investigación ILSA de la Universidad Complutense de Madrid (email: asarasa@fdi.ucm.es).

José Luis Sierra Rodríguez es Director del Grupo de Investigación ILSA de la Universidad Complutense de Madrid. (email: jlsierra@fdi.ucm.es)

ingenieros del software y desarrolladores, diseñadores instruccionales, proveedores de contenido, expertos en el dominio, estudiantes / usuarios finales, etc.

Este objetivo común compartido por los participantes de la mesa redonda, animó a los ponentes y a los moderadores de la misma a extender y a detallar sus puntos de vista. El resultado de este esfuerzo ha cristalizado en este artículo, que además incluye los puntos de vista expuestos por los moderadores de la mesa redonda. De hecho, el artículo describe seis enfoques para el desarrollo de sistemas E-Learning:

- Uso de técnicas de Ingeniería del Software para automatizar diferentes aspectos en un desarrollo software de E-Learning. Este enfoque fue expuesto por Juan-Manuel Dodero, del grupo de investigación SPI&FM de la Universidad de Cádiz.
- Combinación de marcos metodológicos. Esta propuesta fue defendida por Francisco-José García-Peñalvo, Director del grupo de investigación GRIAL de la Universidad de Salamanca.
- Énfasis sobre los aspectos humanos y sociales en los sistemas E-Learning. Esta propuesta fue desarrollada por Carina González, de la Universidad de La Laguna.
- Enfoque de desarrollo para dominios específicos (desarrollo de juegos educativos en particular), defendido por Pablo Moreno-Ger del grupo de investigación e-UCM de la Universidad Complutense de Madrid.
- Enfoques de integración de sistemas y desarrollo dirigido por Modelos/Lenguajes, presentado por Miguel A. Redondo del grupo de investigación CHICO de la Universidad de Castilla La Mancha.
- Desarrollo dirigido por gramáticas, presentado por José-Luis Sierra y Antonio Sarasa del grupo de investigación ILSA de la Universidad Complutense de Madrid.

En las siguientes secciones se describen los seis enfoques anteriores. El artículo concluye con una sección final que presenta las principales conclusiones obtenidas de los diferentes enfoques expuestos.

## II. AUTOMATIZACIÓN BASADA EN LA INGENIERÍA DEL SOFTWARE (ENFOQUE DE DODERO)

La aplicación de técnicas y métodos de la Ingeniería del Software ayudan a automatizar diferentes aspectos del desarrollo e integración de componentes software. Así, en el área de la Mejora del Aprendizaje a través de la Tecnología (TEL), el desarrollo de los componentes software se orienta a construir entornos de aprendizaje personales[26] basados en aplicaciones[44]y servicios externos [11]. A este respecto, en el desarrollo de aplicaciones y plataformas de E-Learning se han aplicado satisfactoriamente diversos métodos y técnicas de Ingeniería del Software, tales como Ingeniería dirigida por modelos [16], Arquitectura dirigida por modelos [10], Modelado [39] y lenguajes[46]de dominios específicos, o Análisis del Dominio [14]y Líneas de Productos Software [52]. En concreto, las técnicas de Ingeniería del Software basadas en modelos propugnan la adaptación de soluciones de E-Learning, lo cual supone un coste más bajo y un menor número de fallos que los enfoques tradicionales de la Ingeniería del Software. Tales afirmaciones se sustentan en la interoperabilidad de las aplicaciones y sistemas que componen el sistema de E-Learning finalmente desplegado.

En los últimos años ha surgido un número amplio de estándares en el campo del E-Learning para abordar el problema de la interoperabilidad [11]. Sin embargo estos estándares se limitan a cubrir aspectos acerca de la personalización y la descripción del contexto en el cual tiene lugar el aprendizaje [18]. La adopción de un LMS particular, una aplicación específica o un servicio web existente limita al diseñador instruccional, debido a las restricciones impuestas por la elección tecnológica. En este sentido, los métodos y técnicas de Ingeniería del Software basados en modelos juegan un papel crucial, separando los aspectos técnicos de aquellos puramente específicos del dominio (el aprendizaje, en este caso). De este modo, los enfoques basados en modelos dirigen cada vez más el esfuerzo de ingeniería dentro del ciclo de vida del proceso de desarrollo software hacia la integración y configuración, desplazándolo desde la programación. Por ejemplo, el proyecto ASCETA (<http://asceta.uca.es/>) ha orientado la investigación hacia el uso de tecnologías semánticas para simplificar las tareas de integración y configuración de los componentes software de los sistemas de E-Learning[15].

## III. MÉTODOS DE INGENIERÍA DEL SOFTWARE PARA SISTEMAS E-LEARNING (ENFOQUE DE GARCÍA-PEÑALVO)

La complejidad del E-Learning y de los sistemas educativos basados en computador debe mayoritariamente a la naturaleza de los proyectos, dado que estos involucran diferentes actores, papeles, contenidos, funcionalidades, servicios, etc. Generalmente un proyecto no empieza desde cero, puesto que sería imposible cumplir con los hitos temporales y los requisitos funcionales. Además estas aplicaciones educativas suelen ser capaces de inter-operar con otros componentes software externos, requiriendo de enfoques de tipo *mash-up*[38][45], y presentan, por tanto, claros retos de interoperabilidad [2][26][27].

Debido a esta diversidad, cada proyecto requiere de su propio enfoque metodológico, con una clara diferenciación que depende de si se trata de un contexto de investigación o de un contexto de desarrollo. Por ejemplo, en un contexto de investigación típico podría adoptarse los ciclos de acción-

investigación [68]. De esta forma, usando una aproximación de *aprender haciendo*, el equipo de investigación trabaja junto intentando resolver e identificar un problema, ver el éxito de sus esfuerzos a través de métodos empíricos, extraer conclusiones y aplicar éstas de nuevo en otro ciclo. En estos ciclos, dependiendo de la naturaleza del sistema educativo, puede que se usen diferentes enfoques y técnicas (Ingeniería dirigida por modelos [16], Ingeniería de Líneas de Productos Software[52], Ingeniería del Software Orientada a Servicios[9], Ingeniería de Usabilidad [25], Representación Semántica del Conocimiento[63], etc). Por otro lado, existen soluciones tecnológicas especialmente adecuadas para el desarrollo y despliegue en contextos particulares, tales como los enfoques de *mash-ups* utilizados como una solución común en los ecosistemas de aprendizaje [24] para establecer flujos de información e interoperabilidad entre los componentes del ecosistema (sirva como ejemplo la integración de un portal basado en un CMS con una red social como Facebook).

Los ciclos de investigación y desarrollo comparten las características de ser iterativos e incrementales. Esto significa que ambas orientaciones se pueden abordar a través de enfoques ágiles que establecen intervalos de tiempo para los desarrollos o ciclos.

El uso de métodos ágiles, tanto para la gestión de proyectos [28] como para el proceso de desarrollo [43], se justifica por el alto riesgo de que se produzca una evolución y un cambio en los requisitos y en la arquitectura del sistema, así como también por la forma en la que están compuestos los equipos de desarrolladores (o investigadores). No obstante, cuando un proyecto es demasiado amplio, e involucra a equipos muy numerosos y distribuidos, entonces se debería pensar en usar un enfoque más formal, tal como el Proceso Unificado[33]. Sin embargo, para la gestión interna de cada iteración/incremento, se considera adecuado seguir usando una orientación ágil.

En el contexto de las experiencias realizadas en GRIAL (Grupo de Investigación en Interacción y E-Learning-<http://grial.usal.es>), los métodos basados en Scrum[61] han sido los más usados, tanto en desarrollos prácticos [8] como de investigación [7]. Scrum es un marco

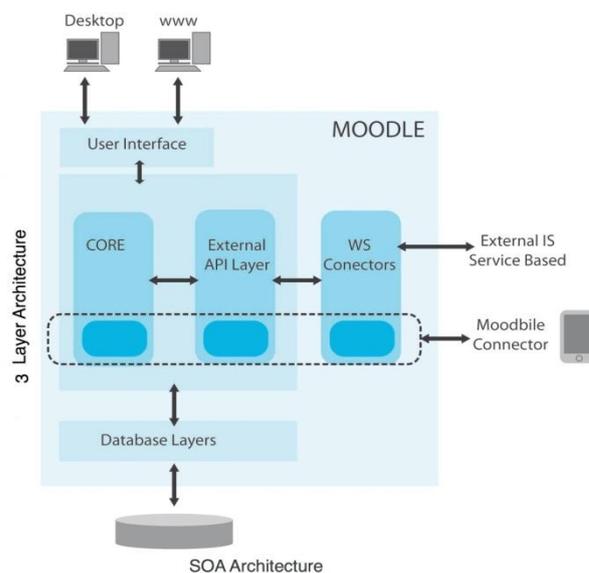


Figura 1. Arquitectura del conector Moodle



Figura 2. (a) Educador y fisioterapeuta testeando TANGO-H en un laboratorio, (b) Educador y fisioterapeuta utilizando videojuegos educativos en la habitación de un hospital infantil, (c) Informático y médico terapeuta en una habitación usando TANGO-H con niños.

para la gestión ágil de proyectos de creciente interés en distintos campos de aplicación, incluyendo los proyectos de aprendizaje, en los que se usa esta metodología para gestionar tareas que involucran tanto desarrollo de software como de contenidos de aprendizaje [48], así como la organización del equipo[69].

El proyecto Moodbile[5] podría ser citado como un ejemplo de aplicación del enfoque metodológico mencionado anteriormente, dónde se utilizó, como base para el desarrollo, un marco basado en servicios para integrar aplicaciones de aprendizaje móvil con un Sistema de Gestión del Aprendizaje (LMS) Moodle. La motivación del proyecto Moodbile era convertir los LMS y las plataformas de E-Learning más utilizadas, que en general están diseñadas como sistemas monolíticos por capas, a un paradigma de servicios. En este sentido, este proyecto implementa una solución de interoperabilidad para extender un LMS a otros entornos, tales como el mundo móvil. Su principal contribución es adaptar los LMS a la generación actual del E-Learning 2.0. Su primer objetivo fue Moodle. La Figura 1 muestra la arquitectura del conector de Moodbile.

El proyecto Moodbile fue desarrollado por un equipo de desarrollo distribuido. Necesitó, por tanto, combinar ciclos de acción-investigación con los típicos incrementos de desarrollo. Este proyecto refleja muy bien las ideas expresadas en esta sección, ya que implica combinar de manera natural investigación y desarrollo, y también debido a las características cambiantes e inestables de sus requisitos, que invitan a usar un enfoque ágil para hacer frente a la evolución del sistema.

#### IV. ASPECTOS HUMANOS Y SOCIALES (ENFOQUE DE GONZÁLEZ)

Durante los últimos quince años, la Ingeniería del Software aplicada al E-Learning se ha enfocado principalmente en el aspecto tecnológico de los procesos de especificación, sistematización y estandarización de modelos y procesos de enseñanza-aprendizaje [13][20]. Algunos ejemplos de esta tendencia son las diversas iniciativas (e.g., IMS, IEEE LOM, SCORM, LAMS, etc.), metodologías y técnicas que ayudan a los equipos a llevar a cabo proyectos educativos de investigación y desarrollo.

Actualmente, uno de los mayores retos planteados a la Ingeniería del Software es la gestión y representación del conocimiento y el diseño instruccional en entornos de aprendizaje caracterizados por ser abiertos, ubicuos, sociales e informales. A modo de ejemplo es posible citar los cursos masivos en abierto (MOOCS) [36][37], cursos semiautomáticos con un diseño instruccional característico

(píldoras de conocimiento en forma de videos interactivos, autoevaluación, evaluación por pares, etc.) que permiten gestionar las interacciones de miles de estudiantes facilitando la autogestión del aprendizaje. Estos nuevos formatos facilitan que los procesos de enseñanza-aprendizaje sean abiertos, estructurados e interactivos. Además generan muchos datos que se pueden utilizar para descubrir patrones de interacción, estilos de aprendizaje y obtener conocimiento acerca del proceso de enseñanza-aprendizaje desarrollado sobre la plataforma.

Por otra parte, otro fenómeno actual que resulta interesante para el campo de la Ingeniería del Software es el modelado y la representación de los procesos de aprendizaje que se llevan a cabo en los ecosistemas tecnológicos en el *micro-nivel* (micro-contenido, micro-formatos, micro-lecturas, etc.). Este fenómeno se ha denominado *micro-aprendizaje* [32], y se caracteriza porque el aprendizaje se realiza interactuando con nuevas estructuras de micro-contenidos durante cortos espacios de tiempo (desde un par de segundos en entornos de aprendizaje móvil, hasta 10-15 minutos o más). También en el contexto del micro-aprendizaje puede resultar útil describir los procesos de aprendizaje informal, en los que las personas adquieren conocimientos a través de estructuras de micro-contenido en un microcosmos o ecosistema.

Es interesante observar que el principal objetivo de la Ingeniería del Software para E-Learning es el diseño y desarrollo de sistemas y servicios accesibles y usables, con el objetivo de que los usuarios finales maximicen su experiencia de usuario en los sistemas de enseñanza y el aprendizaje. Este objetivo sólo puede conseguirse trabajando en equipos interdisciplinarios y usando metodologías ágiles centradas en el usuario, que incluyan a expertos y usuarios de las aplicaciones y servicios dentro del proceso de diseño. Los actores más importantes que intervienen en el proceso de aprendizaje son los profesores y los estudiantes. Es por ello que se necesita prestar especial atención a estos dos tipos de actores diferentes que intervienen en el desarrollo de plataformas de E-Learning. En este sentido, se han empleado exitosamente metodologías de diseño ligeras y ágiles centradas en el usuario (UCD) con equipos interdisciplinarios, que incluyan tanto a expertos educativos y a estudiantes durante todo el proceso de diseño. Esta aproximación metodológica se ha aplicado satisfactoriamente en algunos desarrollos de E-Learning en la Universidad de la Laguna, tales como ULLMedia[31], SAVEH [4], SALUD-in [51], VIDEM [67], o TANGO-H [64]. Por ejemplo la Figura 2 muestra el proceso de validación iterativo de nuestros videojuegos educativos en el contexto de TANGO-H (<http://tangoh.iter.es/>) con diferentes expertos, usuarios y escenarios reales.

## V. RETOS EN EL DESARROLLO DE JUEGOS EDUCATIVOS (ENFOQUE DE MORENO-GER)

El uso de juegos digitales y simulaciones (conocidas como *juegos serios*) se ha incrementado en los últimos años en el área del TEL[30][66]. Estas iniciativas han ido sumando apoyos en los últimos diez años, y actualmente se han convertido en una línea de trabajo aceptada por la comunidad académica.

Sin embargo, esta aceptación no ha tenido como consecuencia un incremento del desarrollo de juegos educativos en dominios de aplicación real. Existen muchas barreras que impiden una difusión más amplia, tales como aspectos sociales (los juegos son percibidos normalmente como juguetes para niños pequeños o como un instrumento peligroso que puede corromper a los jóvenes jugadores [62]), falta de infraestructura, resistencia de los profesores, e incluso rechazo por parte de los estudiantes. Sin embargo, el problema más importante es típicamente el enorme coste que generan los proyectos de desarrollo de juegos educativos.

De hecho, la inspiración de usar juegos en la educación procede de la observación de la gran aceptación que tienen los juegos comerciales sobre las personas. Sin embargo estos juegos están respaldados por presupuestos multimillonarios, y se desarrollan por equipos de programadores altamente especializados, especialistas en efectos visuales, escritores y diseñadores de juegos. Desgraciadamente los juegos educativos raramente disponen de tales presupuestos, ni cuentan con equipos de trabajos tan especializados. Se requieren, por tanto, otros enfoques para su desarrollo.

Desde una perspectiva técnica, existe una necesidad imperiosa de adecuar los modelos de desarrollo y las técnicas de Ingeniería del Software requeridas, con el objetivo de reducir los costes de desarrollo y alinearlos con los típicos presupuestos educativos. A este respecto, existen principalmente dos propuestas en esta línea: usar lenguajes específicos y motores de ejecución especialmente diseñados para juegos, o bien usar herramientas de autoría de juegos que reduzcan los costes de desarrollo y faciliten la participación de expertos en el contenido en el proceso de autoría [3][40].

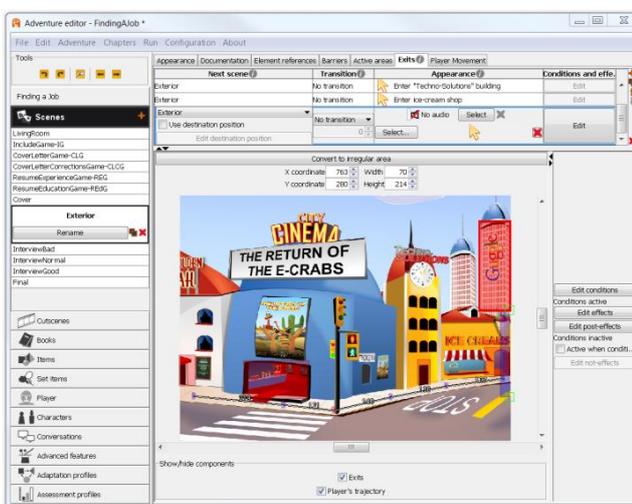


Figura 3. Una captura de e-Adventure, una plataforma de desarrollo de juegos educativos. Los juegos se crean usando acciones de *seleccionar* y *arrastrar*, sin requerir de programación alguna.

## A. Lenguajes y Motores de Ejecución Específicos para Videojuegos.

Con el objetivo de elevar el nivel de abstracción, muchos videojuegos separan la lógica de bajo nivel del diseño de alto nivel que define el comportamiento del juego (uso de técnicas de Inteligencia Artificial, diseño de niveles, guion del juego, eventos, etc.). Así, el núcleo de estos desarrollos es típicamente un motor de ejecución muy eficiente que gestiona aspectos gráficos, físicos, sonido o efectos visuales. En este sentido el juego se construye usando lenguajes de *script*, que son normalmente más fáciles de usar para personas no expertas. Como ejemplos de motores de juegos usados en desarrollos no profesionales pueden citarse Ogre (<http://www.ogre3d.org/>) y yjMonkeyEngine (<http://jmonkeyengine.com/>). Sin embargo los requisitos de programación para estos motores son aún bastante altos para las típicas aplicaciones de juegos educativos, lo que evidencia la necesidad de herramientas con un grado de abstracción mayor.

## B. Herramientas de Autoría de Juegos

A este respecto, han surgido una variedad de herramientas que, reduciendo lo máximo posible el requisito de tener conocimientos de programación, permiten a los autores crear sus propios juegos. Obviamente, estas iniciativas necesitan reducir su expresividad para conseguir el objetivo de la simplicidad, y los juegos que pueden ser creados son, en general, muy similares. Esta posible falta de expresividad se compensa frecuentemente potenciando el uso de narraciones frente a la acción intensiva y a las interacciones complejas [41].

Usando estas herramientas de autoría, los desarrolladores de juegos sólo necesitan seleccionar y arrastrar componentes. Algunos ejemplos comerciales de estas herramientas son Game Salad (<http://gamesalad.com/>) o Unity (<http://unity3d.com/>). De manera similar, e-Adventure (<http://e-adventure.e-ucm.es>) es un ejemplo específico creado para facilitar el desarrollo de juegos educativos (ver Figura 3), que permite a los instructores crear sus propios juegos educativos usando una interface visual.

En particular e-Adventure ha sido utilizada con éxito para crear y desplegar juegos en diferentes ámbitos educativos tales como Medicina [47], Aprendizaje de lenguas [12], Cultura/Historia [22], Formación en primeros auxilios [42] o Formación en Nuevas Tecnologías [19].

## VI. DESARROLLO DIRIGIDO POR MODELOS, DESARROLLO DIRIGIDO POR LENGUAJES E INTEGRACIÓN DE SISTEMAS (ENFOQUE DE REDONDO)

El desarrollo de sistemas E-Learning como un caso particular de sistemas software, requiere de métodos sistemáticos que guíen el proceso de desarrollo y reduzcan los costes de producción. Para este propósito, los métodos y técnicas de Desarrollo Dirigido por Modelos (MDD) constituyen una aproximación adecuada, especialmente cuando el propósito es construir sistemas para el Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computador (CSCL). De hecho, contar con herramientas o plataformas de E-Learning que soporten el trabajo práctico y el trabajo en grupo, tales como las que pueden encontrarse en entornos de formación de estudiantes, es una necesidad recurrente en los escenarios de E-Learning. Así mismo, es fundamental asegurar que estas herramientas estén integradas con las plataformas de E-Learning usuales, como,

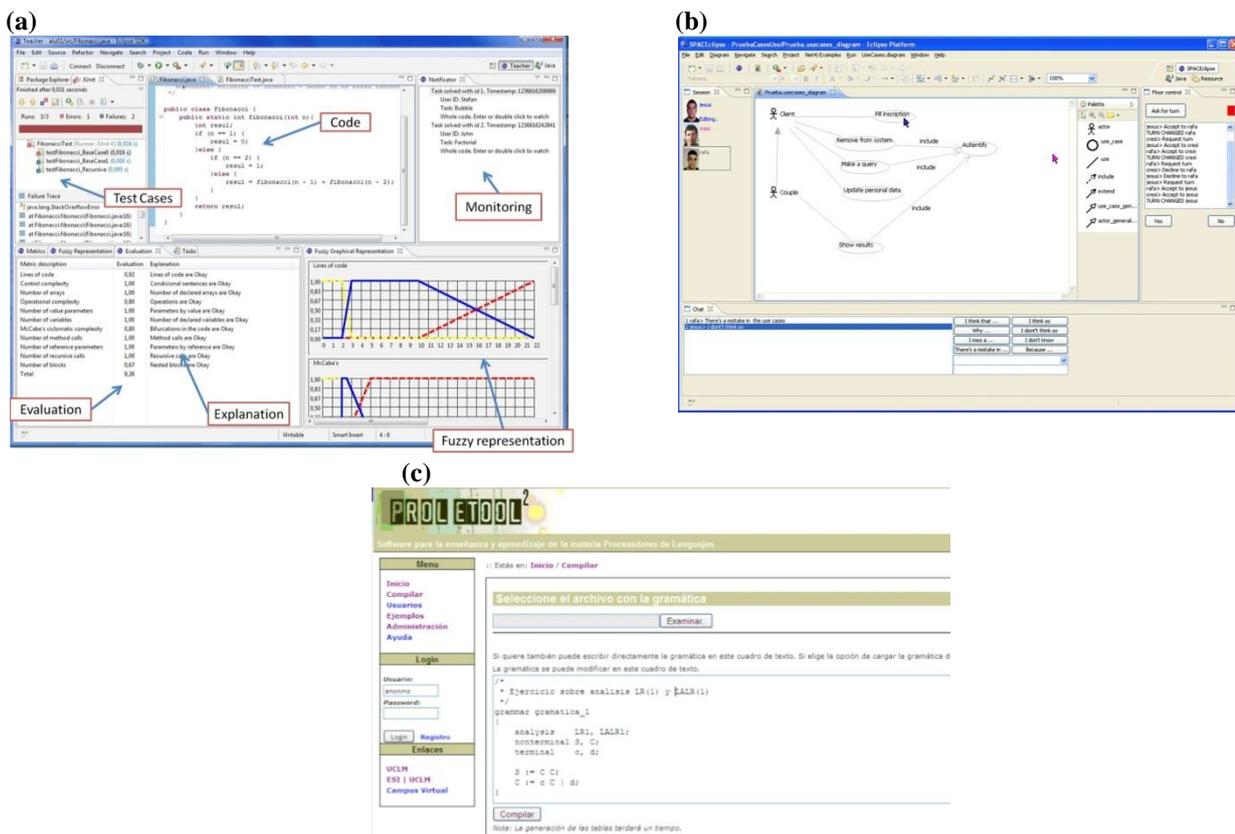


Figure 4. (a) Interface principal del entorno COALA; (b) Captura de una herramienta modelado colaborativo para el diseño de Diagramas de Casos de Uso; (c) Interface de usuario de Proletool para la especificación de problemas y soluciones.

por ejemplo, por medio de Entornos de Aprendizaje Personal [50].

En entornos generalistas, tales como la plataforma Eclipse, se incluye soporte para MDD como un método de desarrollo. Para ello se usan tecnologías como EMG, GMF, ATL, Ecore, etc. En [23] se proporcionan ejemplos de aplicación de estas tecnologías. Este tipo de entornos pueden especializarse con éxito en herramientas de E-Learning. Como caso particular de ejemplo, [35] describe el papel de Eclipse en el ámbito del aprendizaje en grupo en grupos de programación (o programación por parejas). En este ámbito, se presenta COALA, un entorno asistido por ordenador para el aprendizaje de algoritmos. En la Figura 4a se muestra una captura de la interface principal de este entorno.

De hecho, Eclipse también permite la aplicación de este enfoque a otros dominios, en los cuales las actividades de diseño son realizadas con el objetivo de aprender y adquirir capacidades específicas [23]. A este respecto, la captura de la Figura 4b se corresponde con un ejemplo relativo a una herramienta colaborativa de modelado. Esta herramienta soporta el aprendizaje del diseño de Diagramas de Casos de Uso.

Además en otros casos, se puede utilizar un enfoque similar que hace uso de las técnicas utilizadas para la construcción de Procesadores de Lenguaje. Estas técnicas dirigidas por los lenguajes son usadas para construir módulos específicos de los sistemas de aprendizaje. Por ejemplo, utilizando este enfoque es posible desarrollar módulos de evaluación, ayuda, retroalimentación personalizada, etc[6]. Un ejemplo de este enfoque es la herramienta ProleTool, que permite a los usuarios especificar sus propias actividades de aprendizaje, añadir soluciones alternativas y recibir una evaluación desde el

sistema, de manera que son guiados en el proceso de aprendizaje. ProleTool en sí se ha desarrollado usando lenguajes formales y procesadores de lenguajes para esos lenguajes, de manera que sea posible construir un modelo computable que resuelva las actividades y analice las soluciones. La Figura 4c muestra la interface de usuario de ProleTool para la especificación de problemas y soluciones.

Por último, cabe observar que cuando se aplican estos enfoques de desarrollo, es necesario considerar aspectos colaterales igualmente importantes, tales como la integración e interoperabilidad. En relación con estos aspectos, se pueden citar propuestas como las arquitecturas basadas en estándares, los lenguajes de modelado educativo, o las arquitecturas basadas en espacios de tuplas[34]. Así mismo, estos aspectos podrán, en un futuro próximo, beneficiarse de los nuevos paradigmas y tecnologías, tales como el *Cloud Computing*.

## VII. DESARROLLO DIRIGIDO POR GRAMÁTICAS (ENFOQUE DE SIERRA Y SARASA-CABEZUELO)

La complejidad del desarrollo de aplicaciones de E-Learning requiere gestionar múltiples dimensiones, entre las cuáles las dos siguientes son particularmente relevantes:

- *Organización y Arquitectura del Software*. Los sistemas y aplicaciones de E-Learning son artefactos muy complejos que implican a muchos componentes diferentes que deben orquestarse de forma adecuada. Así las aplicaciones E-Learning habituales se despliegan, normalmente, en entornos Web, requiriéndose para ello una amplia variedad de marcos de trabajo y tecnologías de cliente y de servidor. Además, estas aplicaciones son altamente interactivas, lo cual aconseja organizar las mismas como RIAs (*rich-internet applications*)

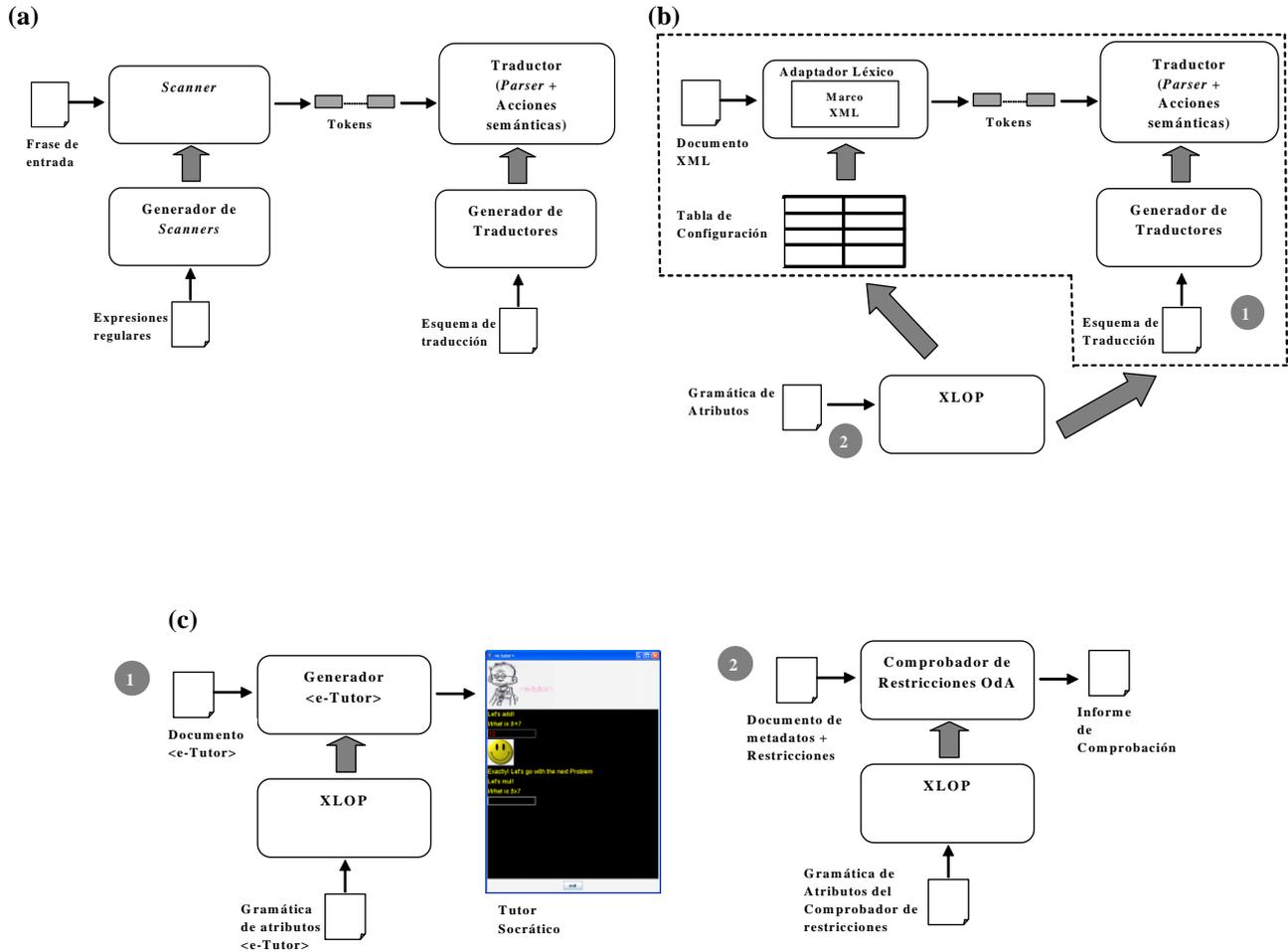


Figure 5. (a) Estructura clásica de un analizador dirigido por la sintaxis para el desarrollo de un procesador de lenguajes; (b) 1. Adaptación de (a) para el procesamiento de documentos XML; 2. Automatización de (1) con gramáticas de atributos y el entorno de desarrollo XLOP; (c) 1. Uso de XLOP para la construcción del sistema <e-Tutor>; 2. Uso de XLOP para la construcción del sistema del comprobación de restricciones de Oda

[21]construidas sobre colecciones sofisticadas de servicios de E-Learning[11], sobre complejas arquitecturas de interacción basadas en el servidor [29], o bien sobre una mezcla de ambas. Por otro lado, las aplicaciones de E-Learning más exitosas son intrínsecamente modulares y extensibles, con el objetivo de poder adaptarse mejor a las necesidades individuales de los usuarios o a comunidades de usuarios. Por último señalar, que estas aplicaciones deben integrar contenidos educativos muy estructurados, y, así mismo, deben poder interactuar con otras aplicaciones, sistemas y plataformas que utilicen especificaciones y estándares reconocidos [11].

- *Distribución racional de papeles.* Como se ha indicado en las secciones previas, el desarrollo de aplicaciones de E-Learning involucra a diferentes categorías de expertos con conocimientos e intereses heterogéneos. En este sentido, no es aplicable una división directa entre desarrolladores, instructores y usuarios finales (estudiantes), sino que hay que realizar divisiones más finas en cada tipo de papel. Por ejemplo, respecto a los desarrolladores, podría muy bien diferenciarse entre modeladores de datos, gestores de la información y expertos en bases de datos, programadores de servicios y funcionalidades básicas del lado del servidor, expertos en arquitecturas y marcos de trabajo del lado del servidor,

expertos en el desarrollo de RIAs, diseñadores gráficos y web,etc., siguiendo las típicas divisiones que se realizan en los enfoques de desarrollo orientados a la Web[21][29].

En este sentido, la adopción de paradigmas de desarrollo que permitan gestionar de manera simultánea estas dimensiones de la complejidad resultará altamente beneficiosa durante el proceso de desarrollo.

De esta forma, en ILSA (el grupo de investigación en Ingeniería de Lenguajes Software y Aplicaciones de la UCM), se ha experimentado con el uso de gramáticas formales para conseguir este objetivo. Con este propósito se comenzó considerando la estructura estándar de un procesador de lenguaje dirigido por la sintaxis convencional [1]. Como se muestra en la Figura 5a, esta estructura está compuesta por un *scanner*, que es el encargado de fragmentar el texto de entrada en una secuencia de *tokens*, y un traductor (un analizador sintáctico o *parser*, aumentado con acciones semánticas) encargado de procesar la secuencia de *tokens*, imponiendo a dicha secuencia una estructura sintáctica y usando esta estructura para llevar a cabo los pasos del procesamiento. Como también se muestra en la Figura 5a, estos componentes pueden ser generados automáticamente usando especificaciones de alto nivel: especificaciones basadas en expresiones regulares en el caso del *scanner*, y esquemas de traducción (gramáticas

incontextuales aumentadas con acciones semánticas) en el caso del traductor.

Esta organización puede ser utilizada para abordar conjuntamente las dimensiones de la *organización y arquitectura del software* y la *distribución de papeles* de la siguiente manera:

- Respecto a la organización y la arquitectura del software, la organización dirigida por la sintaxis divide el procesamiento del lenguaje en dos capas bien diferenciadas: una *capa lingüística*, según la cual el texto de entrada se procesa siguiendo modelos lingüísticos bien definidos (expresiones regulares, gramáticas incontextuales aumentadas, etc.), y una colección de *acciones semánticas*, que pueden verse, en realidad, como un conjunto de servicios y funcionalidades convencionales.
- Respecto a la distribución de papeles, básicamente afecta a los desarrolladores. La capa lingüística puede ser realizada por expertos en el diseño e implementación de lenguajes de programación, desarrollando los componentes necesarios utilizando herramientas de generación especializadas que soportan las especificaciones de alto nivel antes mencionadas (expresiones regulares, esquemas de traducción, ...). Las acciones semánticas, por su parte, consisten en la programación convencional de funcionalidades simples y servicios básicos (por ejemplo en el procesador de un lenguaje de programación, chequear si dos tipos son equivalentes consultando la tabla de símbolos, o la generación de código). Estos servicios pueden ser directamente desarrollados por programadores convencionales sin un conocimiento específico de las técnicas de procesamiento de lenguajes.

Así, el enfoque orientado a gramáticas para el desarrollo de aplicaciones de E-Learning que se ha creado en el contexto del grupo de investigación ILSA, concibe una aplicación de E-Learning como un conjunto coordinado de procesadores de lenguaje cuya construcción puede ser automatizada en términos de especificaciones de alto nivel basadas en gramáticas formales.

Con el objetivo de experimentar con este enfoque, en los últimos cuatro años ILSA ha centrado sus esfuerzos en el procesamiento de documentos XML dirigido por lenguajes [54][57], dado que XML es una de las tecnologías básicas utilizadas en las actuales plataformas y sistemas de E-Learning [55]. Con este propósito, se empezó adaptando la estructura básica del procesamiento dirigido por la sintaxis de la Figura 5a para tratar con documentos XML. La idea básica fue reemplazar el scanner convencional por un adaptador de un marco de procesamiento estándar de XML [57]. Tal adaptador puede configurarse mediante tablas que mapean eventos de documentos XML (como por ejemplo, *etiqueta de apertura*, *etiqueta de cierre*, *contenido*, etc) en los *tokens* esperados por los traductores. El resto de la organización permanece inalterada (ver Figura 5b-1). Este esquema permite usar herramientas de construcción de compiladores convencionales (como por ejemplo JavaCC, ANTLR, CUP, ...) para desarrollar aplicaciones de procesamiento XML usando especificaciones de alto nivel (más concretamente, esquemas de traducción [1]). Se han desarrollado dos realizaciones de esta solución, una usando JavaCC como herramienta de construcción de compiladores

y SAX como marco estándar de procesamiento XML [60], y otra usando CUP como herramienta de construcción de compiladores y StAX para tratar con la *tokenización* de los documentos XML [56].

Con el objetivo de facilitar el uso de este enfoque, se ha desarrollado, así mismo, una meta-herramienta denominada XLOP (XML Language-Oriented Processing) [54][59] que, tomando como entrada especificaciones basadas en *gramáticas de atributos* [49], permite generar de manera automática todos los componentes software necesarios (los esquemas de traducción y las tablas para configurar los adaptadores de los marcos de procesamiento XML; Figura 5b-2).

XLOP se ha utilizado con éxito para refactorizar el sistema <e-Tutor>, un sistema para la generación de tutores socráticos descritos mediante documentos XML (Figura 5c-1) [55][65]. Tal como aparece en la Figura 5c-1, usando XLOP es posible describir el generador <e-Tutor> (es decir el componente encargado de transformar los documentos XML en la aplicación tutorial en sí) como una gramática de atributos, y automáticamente generar este generador desde la especificación de alto nivel. XLOP también ha sido usado en el desarrollo de un servicio de comprobación de restricciones impuestas sobre los objetos de aprendizaje almacenados en OdA, un sistema para el desarrollo de colecciones de objetos de aprendizaje en dominios especializados [53][55][58]. Para ello, el servicio de comprobación se expone como un servicio web, el cual puede generarse automáticamente con XLOP a partir de una descripción dada como una gramática de atributos (Figura 5c-2).

## VIII. CONCLUSIONES

Este artículo ha presentado seis formas diferentes de abordar el desarrollo de aplicaciones para E-Learning. Aunque las propuestas difieren en los enfoques y en los detalles subyacentes, todas ellas comparten un objetivo común, que es el de facilitar el desarrollo de aplicaciones en este dominio de aplicación complejo.

Efectivamente, las propuestas de Dodero y Redondo señalan el papel clave que juegan los enfoques generativos, y en particular los métodos dirigidos por modelos o por lenguajes, en el desarrollo de sistemas de E-Learning. Este punto de vista también es compartido por Sierra y Sarasa, quienes proponen el uso de gramáticas formales para el desarrollo de este tipo de sistemas.

Este énfasis en los desarrollos dirigidos por modelos o por lenguajes es consistente con la percepción de Moreno-Ger acerca de la necesidad de que los expertos en el dominio adopten un papel activo en el desarrollo de juegos educativos. Además, Moreno-Ger muestra cómo los modelos y lenguajes específicos del dominio no son suficientes, dado que necesitan ser soportados por herramientas educativas orientadas al instructor.

Sin embargo como García-Peñalvo indica, el E-Learning es un dominio software muy complejo. En efecto, la complejidad intrínseca del desarrollo web, un hecho que también se hizo patente en la propuesta de Redondo de usar técnicas sofisticadas de integración de sistemas durante el desarrollo de sistemas E-Learning, requiere hacer frente a la compleja coordinación de equipos multidisciplinares de expertos en el dominio, estudiantes y desarrolladores. Para este propósito, García-Peñalvo señala los beneficios de adoptar enfoques ágiles como técnicas de desarrollo básicas,

un punto de vista compartido por González. Sin embargo, García-Peñalvo también apunta que esto no debería implicar que se descarten enfoques más estructurados. Por el contrario, propone la integración consistente de métodos ágiles con convencionales con el objetivo de orquestar las diferentes fases o iteraciones. En el enfoque gramatical de Sierra y Sarasa se describe un aspecto particular de este problema, distinguiendo entre la capa lingüística y la convencional y proponiendo el uso de gramáticas formales para llevar a cabo el desarrollo del nivel lingüístico.

Finalmente, tal como argumenta González, independientemente de aspectos tales como la participación activa de expertos en el dominio, el uso de estándares bien establecidos y otras cuestiones metodológicas y tecnológicas, un hecho clave en los modernos sistemas de E-Learning es la dimensión social/humana. En este sentido, gestionar este hecho debería ser prioritario en cualquier proceso de desarrollo de E-Learning. En relación con este tema, González señala la línea de trabajo emergente de los micro-formatos y del micro-aprendizaje como un tema clave en los escenarios de E-Learning actuales.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecer especialmente a los organizadores del SIIE'12 por todas las facilidades recibidas para llevar a cabo el taller ISELEAR'12 como parte de la conferencia principal, y en particular por permitirnos organizar la mesa redonda que ha sido el origen del presente trabajo. Este trabajo ha sido financiado parcialmente por los proyectos TIN2010-21695-C02-01, TIN2010-21288-C02-01 y P09-TIC-5230.

#### REFERENCIAS

- [1] Aho, A.V., Lam, M.S., Sethi, R., Ullman, J.D. 2007. *Compilers: principles, techniques and tools* (second edition). Addison-Wesley
- [2] Alier-Forment, M., Casany-Guerrero, M<sup>a</sup>-J., Conde-González, M.A., García-Peñalvo, F.-J. & Severance, C. Interoperability for LMS: the missing piece to become the common place for E-Learning innovation. *International Journal of Knowledge and Learning*, 6(2/3), pp. 130-141
- [3] Burgos, D., Moreno-Ger, P., Sierra, J. L., Fernández-Manjón, B., & Koper, R. (2007). Authoring Game-Based Adaptive Units of Learning with IMS Learning Design and <e-Adventure>. *International Journal of Learning Technologies*, 3(3), 252-268.
- [4] Carina S. González, P. Toledo, S. Alayón, V. Muñoz, D. Meneses (2011). Using Information and Communication Technologies in Hospital Classrooms: SAVEH Project. *Knowledge Management & E-Learning- Special Issue on "Advances in Health Education Applying E-Learning, Simulations and Distance Technologies"*, 3(1), pp.72-83.
- [5] Casany, M<sup>a</sup>. J., Alier, M. Mayol, E., Piguillem, J., Galanis, N., García-Peñalvo, F. J., Conde, M. Á. (2012) Moodbile: A Framework to Integrate m-Learning Applications with the LMS. *Journal of Research and Practice in Information Technology*, 44(2), pp. 129-149.
- [6] Castro-Schez, J.J., et al.(2012). Designing and developing software for educative virtual laboratories with language processing techniques: lessons learned in practical experiments. *Journal of Research and Practice of Information Technology*, 44(3), pp. 289-307.
- [7] Conde, M. Á. (2012). *Personalización del aprendizaje: Framework de servicios para la integración de aplicaciones online en los sistemas de gestión del aprendizaje*. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca.
- [8] Conde, M. Á., Álvarez Rosado, N., García Peñalvo, F. J. (2011). Aplicación de procesos y técnicas de la Ingeniería del Software para la definición de una solución mLearning basada en HTML 5.0. En *Actas del 2º Taller sobre Ingeniería del Software en E-Learning (ISELEAR'11)*, pp. 131-145.
- [9] Conde, M. Á., Gómez, D. A., Pozo, A. del, García, F. J. Web services layer for Moodle 2.0: a new area of possibilities in web based learning. *International Journal of Technology Enhanced Learning (IJTEL)*, 3(3):308-321. Inderscience. 2011. ISSN (Online): 1753-5263 - ISSN (Print): 1753-5255.
- [10] Cong, X., Zhang, H., Zhou, D., Lu, P. & Qin, L. (2010). A model-driven architecture approach for developing E-Learning platforms. *Entertainment for Education. Digital Techniques and Systems*, LNCS 6249, pp. 111-12
- [11] Dagger, D., O'Connor, A., Lawless, S., Walsh, E. & Wade, V. P. (2007) Service-Oriented E-Learning Platforms. From Monolithic Systems to Flexible Services. *IEEE Computer*, 35, pp. 28-35.
- [12] del Blanco, Á., Marchiori, E. J., & Fernández-Manjón, B. (2010). Adventure Games and Language Learning. *First International Workshop on Technological Innovation for Specialized Linguistic Domains: Theoretical and Methodological Perspectives (TISLID 10)* (pp. 1-9).
- [13] Devedzic, V., Jovanovic, J. & Gasevic, D. (2007), The Pragmatics of Current E-Learning Standards, *IEEE Internet Computing*, 11(3), pp. 19-27.
- [14] Díez, D., Díaz, P., & Aedo, I (2012). The ComBLA Method: The Application of Domain Analysis to the Development of E-Learning Systems. *Journal of Research and Practice in Information Technology*, 44(3).
- [15] Doder, J. M., Ghiglione, E. & Torres, J. (2010) Engineering the Life-cycle of semantic services-enhanced learning systems, *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 20(4), pp. 499-519.
- [16] Doder, J. M., Ruiz-Rube, I., Palomo-Duarte, M., & Cabot, J. (2012): Model-Driven Learning Design, *International Journal of Research and Practice in Information Technology*, 44(3), pp. 61-82.
- [17] Doder, J.M., García-Peñalvo, F.J., González, C., Moreno-Ger, P., Redondo, M.A., Sarasa, A. & Sierra, J.L. (2013) Points of view on Software Engineering for E-Learning (Panel Session). *Proc. of the 14th International Conference on Computers in Education (SIIE'12)*. IEEE Computer Society (in press)
- [18] Drira, R., Laroussi, M., La Pallec, X., & Warin, B. (2011) Contextualizing learning scenarios according to different Learning Management Systems, *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 5(3), pp. 213-225.
- [19] Dumitrache, A., Logofatu, M., Moldovan, O (2012). Using GBL in ECDL Courses. *8th International Scientific Conference - E-Learning and software for Education*. Bucharest, April 26-27, 2012
- [20] Fernández-Manjón, B., Sierra, J.L., Martínez-Ortiz I., Moreno-Ger, P. (2011) Estándares en E-Learning y diseño educativo. Serie Informes 20. Instituto de Tecnologías Educativas (ITE) Ministerio de Educación.
- [21] Fraternali, P. (2010). Rich-Internet Applications. *IEEE Internet Computing* 14(3), 9-12.
- [22] Frossard, F., Barajas, M. and Trifonova, A. (2012). A Learner-Centred Game-Design Approach. *Impacts on teachers' creativity. Digital Education Review*, 21, 13-22.
- [23] Gallardo, J., C. Bravo, M.A. Redondo. (2012). A model-driven development method for collaborative modeling tools. *Journal of Network and Computer Applications*, 35(3), 1086-1105.
- [24] García, F. J., Rodríguez, M<sup>a</sup> J., Seoane, A. M., conde, M. Á., Zangrando, V., García, A. (2012) GRIAL (GRupo de investigación en InterAcción y E-Learning), USAL. *IE Comunicaciones* 15, pp. 85-94..
- [25] García-Peñalvo, F. J., Colomo-Palacios, R., Hsu, J. Y. (2013) Discovering Knowledge through Highly Interactive Information Based Systems. *Journal of Information Science and Engineering (JISE)*, 29(1)
- [26] García-Peñalvo, F.J., Conde, M.A., & Alier, M. (2011) Opening Learning Management Systems to Personal Learning Environments, *Journal of Universal Computer Science*, 17(9), pp. 1222-1240.
- [27] García-Peñalvo, F.-J., Alier, M. & Lytras, M. (2012). Some Reflections about Service Oriented Architectures, Cloud Computing Applications, Services and Interoperability. *Journal of Universal Computer Science*. 18(11), pp. 1405-1409. June 2012.
- [28] Garzás, J., Enríquez, J., Irrazábal, E. (2012) *Gestión Ágil de Proyectos Software*. Kybele Consulting. 2012.
- [29] Geary, D., Horstmann, C.S. (2010). *Core JavaServer Faces* (3<sup>rd</sup> Edition). Prentice-Hall

- [30] Gee, J. P. (2007). *Good videogames and good learning: collected essays on video games*. New York: Peter Lang Publishing.
- [31] González, C., Cabrera, D. Barroso, A., López, D (2011). ULLMedia: Producción, distribución y producción de contenidos multimedia universitarios. Sierra, J.L., Sarasa, A (Eds.): *Ingeniería del Software en E-Learning*, pp. 15-26.
- [32] Hug, T. (Ed.). (2007). *Didactics of Microlearning: Concepts, Discourses and Examples*. New York: WaxmannVerlag GmbH.
- [33] Jacobson, I, Booch, G., Rumbaugh, J. (1999). *The Unified Software Development Process*. Addison-Wesley Professional.
- [34] Jurado, F., M.A. Redondo, and M. Ortega. (2012). Blackboard Architecture to Integrate Components and Agents in Heterogeneous Distributed E-Learning Systems: An Application for Learning to Program. *Journal of Systems and Software*, 85(7), 1621-1636.
- [35] Jurado, F., M.A. Redondo, M. Ortega. (2009). Providing Instructional Guidance with IMS-LD in COALA, an ITS for Computer Programming Learning. The 15th International Conference on Distributed Multimedia Systems (DMS'09).
- [36] Kop, R (2011). The challenges to connectivist learning on open online networks: Learning experiences during a massive open online course. *International Review of Research in Open and Distance Learning*, 12(3)
- [37] Kop, R. Fournier, H. (2010). New Dimensions to Self-Directed Learning in an Open Networked Learning Environment. *International Journal of Self-Directed Learning*, 7(2)
- [38] Kulathuramaiyer, N. & Maurer, H. (2007). Current Development of Mashups in Shaping Web Applications. In C. Montgomerie & J. Seale (Eds.), *Proc. of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2007*, pp. 1172-1177. Chesapeake, VA: AACE.
- [39] Laforcade, P. (2010). A domain-specific modeling approach for supporting the specification of visual instructional design languages and the building of dedicated editors. *Journal of Visual Languages & Computing*, 21(6): 347–358.
- [40] Marchiori, E. J., Serrano, A., del Blanco, A., Martínez-Ortiz, I., & Fernández-Manjón, B. (2012). Integrating Domain Experts in Educational Game Authoring: A Case Study. *2012 IEEE Fourth International Conference On Digital Game And Intelligent Toy Enhanced Learning* (pp. 72–76). Takamatsu, Japan: IEEE.
- [41] Marchiori, E. J., Torrente, J., del Blanco, Á., Moreno-Ger, P., Sancho, P., & Fernández-Manjón, B. (2012). A narrative metaphor to facilitate educational game authoring. *Computers & Education*, 58(1), 590–599.
- [42] Marchiori, E.J., Ferrer, G., Fernández-Manjón, B., Povar-Marco, J., Suberviola, J. F., Giménez-Valverde, A. (2012). Instrucción en maniobras de soporte vital básico mediante videojuegos a escolares: comparación de resultados frente a un grupo control. *Emergencias* 2012(24), 433-437.
- [43] Martin, R.C. (2011). *Agile Software Development, Principles, Patterns, and Practices*. Pearson.
- [44] Martínez-Ortiz, I., Sierra, J. L., Fernández-Manjón, B & Fernández-Valmayor, A. (2009). Language engineering techniques for the development of E-Learning applications. *Journal of Network and Computer Applications*, 32(5), pp. 1092-1105.
- [45] Mödrtscher, F., Neumann, G., García-Barrios, V.M., & Wild, F. (2008). A Web Application Mashup Approach for E-Learning. Proc. of the 2008 OpenACSand.LRN Conference, pp. 105–110
- [46] Montenegro-Marín, C.E., Cueva-Lovelley, J. M., Sanjuán-Martínez, O. & García-Díaz, V (2012) Domain specific language for the generation of learning management systems modules, *Journal of Web Engineering*, 11(1), pp. 23-50.
- [47] Moreno-Ger, P., Torrente, J., Bustamante, J., Fernández-Galaz, C., Fernández-Manjón, B., & Comas-Rengifo, M. D. (2010). Application of a low-cost web-based simulation to improve students' practical skills in medical education. *International Journal of Medical Informatics*, 79(6), 459–67.
- [48] O'Sullivan, J., Stewart, J. C. (2010). A Framework for Developing an Assessment of Industry Based-Learning Outcomes Using Agile Pedagogical Methods to Deliver Content in an Undergraduate ERP Business Course. Proc. of Student-Faculty Research Day, CSIS, Pace University. Pages D3.1-D3.6.
- [49] Paakki, J. 1995. Attribute Grammar Paradigms – A High-Level Methodology in Language Implementation. *ACM Comp. Surveys*, 27(2), 196-255.
- [50] Peñalvo, F., et al. (2011). Opening Learning Management Systems to Personal Learning Environments. *Journal of Universal Computer Science*, 17(9), 1222-1240.
- [51] SALUD-in: Plataforma de rehabilitación virtual interactiva basada en videojuegos sociales para la salud y la educación física y en técnicas de interacción natural. N° ProID20100218. Retrieved December, 14, 2012 from <http://saludin.es/>
- [52] Sánchez, P., García-Saiz, D., & Zorrilla, M. Software Product Line Engineering for E-Learning Applications: A Case Study, XIV Simposio Internacional de Informática Educativa, pp. 377-382, 2012
- [53] Sarasa-Cabezuelo, A., Sierra, J.-L., Fernández-Valmayor, A. (2009). Processing Learning Objects with Attribute Grammars. 9th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2009), Riga, Latvia, pp. 527-531.
- [54] Sarasa-Cabezuelo, A., Sierra-Rodríguez, J.L. (2013). The Grammatical Approach: A Syntax-Directed Declarative Specification Method for XML Processing Tasks. *Computer Standards & Interfaces*, 35(3), 114-131
- [55] Sarasa-Cabezuelo, A., Sierra-Rodríguez, J.L., Fernández-Valmayor, A. (2009) Procesamiento de Documentos XML Dirigido por Lenguajes en Entornos de E-Learning. *IEEE RITA*, 4(3) pp. 175-183.
- [56] Sarasa-Cabezuelo, A., Temprado-Battad, B., Martínez-Avilés, A., Sierra, J.-L., Fernández-Valmayor, A. (2009). Building an Enhanced Syntax-Directed Processing Environment for XML Documents by Combining StAX and CUP. Fourth International Workshop on Flexible Database and Information System Technology (FlexDBIST'09) Munich, Germany.
- [57] Sarasa-Cabezuelo, A., Temprado-Battad, B., Rodríguez-Cerezo, D., Sierra, J.-L. (2012). Building XML-Driven Application Generators with Compiler Construction Tools. *Computer Science and Information Systems Journal*, 9(2), 485-504
- [58] Sarasa-Cabezuelo, A., Temprado-Battad, B., Sierra, J.-L. (2011). Engineering Web Services with Attribute Grammars: A Case Study. *ACM SIGSOFT Software Engineering*, vol. 36, no. 1, pp. 1-8.
- [59] Sarasa-Cabezuelo, A., Temprado-Battad, B., Sierra, J.-L., Fernández-Valmayor, A. (2009). XML Language-Oriented Processing with XLOP. 5th International Symposium on Web and Mobile Information Services, Bradford, UK, pp. 322-327.
- [60] Sarasa-Cabezuelo, Navarro-Iborra, A., Sierra, J.-L., Fernández-Valmayor, A. (2008). Building a Syntax Directed Processing Environment for XML Documents by Combining SAX and JavaCC. 3rd International Workshop on XML Data Management Tools & Techniques (XANTEC'08), Turin, Italy, pp. 256-260.
- [61] Schwaber, K. (2007). *The enterprise and Scrum*. Microsoft Press.
- [62] Squire, K. (2005) "Toward a theory of games literacy," *Telemidium*, 52, (1-2), 9–15.
- [63] Stojanovic, L., Staab, S., Studer, R. (2001) E-Learning based on the Semantic Web. Proc. of WebNet'2001, World Conference of the WWW and Internet, pp. 1774-1783.
- [64] TANGO-H: Tangible Goals: Health. Retrieved December, 14, 2012 from <http://tangoh.iter.es/>
- [65] Temprado-Battad, B., Sarasa-Cabezuelo, A., Sierra, J.-L. (2010). Managing the Production and Evolution of E-Learning Tools with Attribute Grammars. 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2010), Sousse, Tunisia, pp. 427-431
- [66] Van Eck, R. (2006). Digital game-based learning: It's not just the digital natives who are restless. *EDUCAUSE Review*, 41(2), 16–30.
- [67] VIDEM: Desarrollo de hábitos saludables y la educación física a través de videojuegos educativos motores para niños y adolescentes hospitalizados N° EDU2010-20010. Retrieved December, 14, 2012 from <http://videm.es/>
- [68] Winter, R. (1989) *Learning From Experience: Principles and Practice in Action-Research*. The Falmer Press, 1989
- [69] Yazzi, S. A. (2011). Una experiencia práctica de Scrum a través del aprendizaje basado en proyectos mediado por TIC en un equipo distribuido. Tesis de Máster. Universidad de Salamanca.



**Juan Manuel Doderoes** Licenciado en Informática por la Universidad Politécnica de Madrid y Doctor por la Universidad Carlos III de Madrid. Actualmente es Profesor Titular en la Universidad de Cádiz. Fue también profesor en la Universidad Carlos III de Madrid y trabajó como Ingeniero de Investigación y Desarrollo en la empresa *Intelligent Software COmponents S.A.* Sus principales

intereses de investigación se centran en la ingeniería y ciencias de la web y la mejora del aprendizaje usando tecnología.



**Francisco-José García-Peñalvo** realizó sus estudios universitarios en informática en la Universidad de Salamanca y en la Universidad de Valladolid y se doctoró en la Universidad de Salamanca. El doctor García-Peñalvo es el director del grupo de investigación GRIAL (Grupo de investigación en Interacción y E-Learning). Sus principales intereses de

investigación se centran en el E-Learning, Computadores y Educación, Sistemas Adaptativos, Ingeniería Web, Web Semántica y Reutilización de Software. Ha dirigido y participado en más de 15 proyectos de innovación e investigación. Fue Vicerrector de Innovación Tecnológica de la Universidad de Salamanca entre Marzo de 2007 y Diciembre de 2009. Ha publicado más de 100 artículos en revistas y conferencias internacionales. Ha sido editor invitado en varios números especiales de revistas internacionales (*Online Information Review*, *Computers in Human Behaviour*, *Interactive Learning Environments*...). Además, es miembro del comité de programa de varias conferencias internacionales y revisor de varias revistas internacionales.



**Carina González** es Profesora Contratada Doctora del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Control, y Arquitectura de Computadores de la Universidad de La Laguna. Realizó su doctorado en Ciencias de la Computación, especializándose en técnicas de Inteligencia Artificial e Interacción

Persona-Computadora, llevando a cabo su tesis sobre el desarrollo de Sistemas Tutores Inteligentes (ITS) para la educación de niños con necesidades educativas especiales (síndrome de *Down* y Dislexia). Sus principales áreas de interés de investigación son las aplicaciones de las técnicas de Inteligencia Artificial, multimedia, interfaces adaptativas y videojuegos sociales en Educación. También tiene una amplia experiencia en la aplicación de *buenas prácticas* en E-Learning y sistemas LMS. Fue Vicerrectora de Innovación Educativa y Tecnología y Directora de la Unidad de Enseñanza Virtual de la Universidad de La Laguna desde 2005 hasta 2011.



**Pablo Moreno-Geres** es Profesor Contratado Doctor del Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial de la Universidad Complutense de Madrid. Es miembro del grupo de investigación e-UCM (<http://www.e-ucm.es>) y sus intereses investigadores cubren los diferentes retos educativos, técnicos e ingenieriles para conseguir la integración de los juegos educativos en el proceso

de aprendizaje. Dentro de esta área, su investigación se centra en facilitar la participación e integración de instructores, a través del uso de herramientas de autoría simples, como también a través del desarrollo de técnicas de seguimiento y monitorización automáticas que proporcionen a los instructores información acerca de cómo los estudiantes aprenden. Es autor de casi 50 publicaciones relacionadas con estos temas.



**Miguel-Angel Redondo** es Profesor Titular en el Departamento de Tecnologías y Sistemas de Información de la Universidad de Castilla La Mancha (España). Sus intereses de investigación están enfocados en los campos de las tecnologías de la información aplicadas al Aprendizaje Colaborativo y a la Interacción Hombre-Computadora. Es responsable de diferentes proyectos de investigación sobre el desarrollo de aplicaciones móviles y sistemas colaborativos para aprender a programar.



**Antonio Sarasa-Cabezuelo** es Licenciado en C.C. Matemáticas en la especialidad de C.C. Computación por la Universidad Complutense de Madrid, Ingeniero Técnico en Informática por la Universidad Nacional de Educación a Distancia, Ingeniero en Informática por la Universitat Oberta de Catalunya y Doctor en Informática por la Universidad Complutense de Madrid. Actualmente es Profesor Colaborador en la Facultad de Informática de la Universidad Complutense de Madrid, siendo miembro del Grupo de Investigación ILSA (Ingeniería de Lenguajes Software y Aplicaciones). Su investigación se ha centrado en el ámbito del E-Learning, lenguajes de marcado y lenguajes específicos del dominio. Fue uno de los desarrolladores del proyecto *Agrega* de repositorios digitales. Ha publicado más de 50 trabajos de investigación en conferencias y revistas nacionales e internacionales. Así mismo, es miembro del Subcomité 36 de AENOR.



**José-Luis Sierra** es Diplomado y Licenciado en Informática por la Universidad Politécnica de Madrid, y Doctor en Informática por la Universidad Complutense de Madrid. Actualmente es Profesor Titular de Universidad en la Facultad de Informática de la Universidad Complutense de Madrid, donde dirige el Grupo de Investigación ILSA. Su investigación se centra en el desarrollo y usos prácticos de las herramientas de descripción de lenguajes de programación y en el desarrollo orientado a lenguajes de aplicaciones web e interactivas en los campos de las Humanidades Digitales y el E-Learning. El profesor Sierra ha dirigido y participado en varios proyectos de investigación en los campos de las Humanidades Digitales, E-Learning e Ingeniería de lenguajes Software. Los resultados de estos proyectos han sido publicados en alrededor de 100 artículos de investigación en revistas internacionales, conferencias y capítulos de libros. Es revisor habitual y miembro del comité de programa de revistas y congresos de prestigio. Así mismo, es miembro del Subcomité 36 de AENOR.

# Engenharia Remota e Instrumentação Virtual (REV)

Javier García Zubía, Gustavo R. Alves

A 9ª edição da conferência internacional sobre Engenharia Remota e Instrumentação Virtual (REV) [1], realizada na Universidade de Deusto, Bilbao, Espanha, de 4 a 6 de Julho de 2012, permitiu reunir um conjunto notável de investigadores, de primeira linha, a nível mundial, na temática dos laboratórios remotos e virtuais.

A publicação de três artigos selecionados da conferência, da autoria de investigadores ibero-americanos, na revista IEEE-RITA, surge como uma prova de que esta comunidade tem procurado manter-se ao nível do que melhor se faz em termos de ferramentas tecnológicas de apoio ao ensino experimental de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática.

O primeiro artigo selecionado, intitulado “*Realización a Distancia de Experimentos Reales desde un Sistema de Gestión de Aprendizajes*”, da autoria de investigadores argentinos, descreve a integração de experimentos remotos, na área da física eletrónica, numa plataforma de ensino à distância e a sua posterior utilização na Universidade Nacional de Rosário, na Argentina.

O segundo artigo selecionado, intitulado “*Uso de Dispositivos Móveis para Acesso a Experimentos Remotos na Educação Básica*”, da autoria de investigadores brasileiros e portugueses, descreve a utilização de simples experimentos físicos, acessíveis remotamente, num contexto de atração de jovens brasileiros para as áreas da Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, através de uma iniciativa tripartida Universidade – Empresa – Escola Básica, financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), do Brasil.

Finalmente, o terceiro artigo selecionado, intitulado “*Adaptação de Laboratórios Remotos a Cenários de Ensino: Casos de Estudo com VISIR e RemotElectLab*”, da autoria de investigadores portugueses, espanhóis e suecos, evidencia o ainda longo caminho que os laboratórios remotos têm para percorrer no sentido de permitirem suportar e recriar, o mais fielmente possível, os cenários experimentais que se apresentam num laboratório real, num contexto de ensino superior, na área dos circuitos elétricos e eletrónicos.

Enfatize-se, a terminar, que este último artigo destaca algo que poderá ser do âmbito do senso comum, mas que frequentemente aparece arreigado nos exemplos relatados de desenvolvimento e utilização de laboratórios remotos, i.e. que só um efetivo diálogo entre todos os atores envolvidos (tecnologia, pedagogia, projetistas, docentes, e discentes) permitirá a consolidação e o avanço desta tecnologia educativa.



**Javier García-Zubía** se licenció en Informática el año 1987, y obtuvo su grado de doctor en el año 1996, en ambos casos por la Universidad de Deusto. Actualmente es catedrático de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Deusto desde 1989. Ha participado en más de 20 proyectos nacionales e internacionales y ha publicado más de un centenar de trabajos en revistas y congresos. Sus áreas de interés incluyen la educación ingenieril, los laboratorios remotos y el diseño con VHDL&FPGA. Es co-editor de los libros editados por la Universidad de Deusto: “Advances on Remote Labs and e-Learning Experiences” (con Luis Gomes, UNINOVA), and “Using Remote Labs in Education” (con Gustavo Alves). Es miembro de las asociaciones IEEE, GOLC, IAOE y TAEE.

Javier García Zubía ha sido el General Chair de la 9ª edición de la Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV) conference, que se realizó en Bilbao, España, del 4 al 6 de Julio de 2012.



**Gustavo R. Alves** é Licenciado, Mestre, e Doutor em Eng. Electrotécnica e Computadores, pela FEUP, em 1991, 1995, e 1999, respectivamente. Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Electrotécnica do Instituto Superior de Engenharia - Politécnico do Porto, Portugal, desde 1994. Participou em cerca de 16 projectos de I&D nacionais e internacionais. Publicou cerca de 120 artigos em revistas e conferências internacionais, com comité de revisão. As suas áreas de interesse

incluem a experimentação remota, as metodologias e infra-estruturas de teste e depuração de sistemas electrónicos, e as tecnologias de apoio ao ensino laboratorial. Membro do GOLC, IGIP, SPEE, e Ordem dos Engenheiros.

Gustavo Alves serve actualmente como General Chair da 11ª edição da Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV) conference, que se realizará no Porto, Portugal, de 26 a 28 de Fevereiro de 2014.

# Realización a Distancia de Experimentos Reales desde un Sistema de Gestión de Aprendizajes

F. Lerro<sup>1</sup>, S. Marchisio<sup>1</sup>, S. Martini<sup>2</sup>, H. Massacesi<sup>2</sup>, E. Perretta<sup>1</sup>, A. Gimenez<sup>2</sup>, N. Aimetti<sup>2</sup>, J. Oshiro<sup>2</sup>

**Title—Performing real experiments from a remote Learning Management System (LMS)**

**Abstract—This paper describes the integration of “Laboratorio Remoto de Física Electrónica”, fully developed at Universidad Nacional de Rosario, with the Learning Management System (LMS) developed by “e-educativa”. Technology is basically a self-communication protocol that allows exchanging data in a standardized way between the LMS software and the device control connected to the remote equipment. It includes the implementation of an interface that allows the users of the LMS to have access to this remote lab and to other future similar developments. This integration allows the students to perform at distance the experimental practices, by accessing the same LMS they use for other educational purposes.**

**Index Terms—Remote laboratory, E-learning, Learning technologies**

## I. INTRODUCCIÓN

El avance en el conocimiento, de métodos y técnicas asociados al campo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) están posibilitando cambios significativos en la práctica educativa [1].

En este contexto, destacan los Sistemas de Gestión de Aprendizaje (SGA), ampliamente difundidos entre las instituciones educativas, que se han consolidado como grandes aliados para el desarrollo de la educación a distancia a través de Internet, facilitando, entre otros, la gestión de la información, la disponibilidad y distribución de materiales didácticos multimedia, el desarrollo colaborativo de actividades de aprendizaje, la personalización de las estrategias de aprendizaje, la comunicación (síncrona y asíncrona) bi y multidireccional, sin importar el lugar de residencia.

Sin embargo, estos sistemas, tal como se los conoce hoy, resultan limitados al momento de proveer educación a distancia en el campo de las disciplinas de base experimental. Como se expresa en [2], mediante el empleo de SGA es posible llevar a cabo determinadas actividades de carácter práctico (ejercicios, exámenes y entrega de proyectos on-line), pero las actividades puramente prácticas de disciplinas científico – técnicas como la Ingeniería no

encuentra en los SGA una solución completa. Esa necesidad cubren los laboratorios remotos, que permiten la realización a distancia de prácticas experimentales reales.

La interacción directa con el equipamiento de laboratorio proporciona al estudiante que cursa a distancia una experiencia difícil de igualar. Con un adecuado diseño y la integración de recursos que permitan adquirir información ambiental susceptible de ser enviada a través de Internet y reproducida de forma remota, es posible pensar en la posibilidad de tender a que el estudiante perciba el experimento y las mediciones realizadas de un modo sensible.

El equipo de autores de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) [4] [5] ha desarrollado en la Universidad Nacional de Rosario (UNR), el Laboratorio Remoto de Física Electrónica. Se accede al mismo mediante usuario y clave personales, ingresando al sitio <http://labremf4a.fceia.unr.edu.ar/>. Este laboratorio se emplea en dictados regulares para la Carrera Ingeniería Electrónica [6] [7] [8]; pero además ha sido empleado con fines de investigación en cursos de capacitación docente, asignaturas de posgrado y cursos de actualización.

En la asignatura Física IV de Ingeniería Electrónica se venía empleando además la plataforma de e-learning de tecnología e-educativa. Lo conveniente es facilitar a los estudiantes el acceso y la realización de las prácticas experimentales con laboratorio remoto en el mismo espacio virtual en el que se accede a los materiales de estudio y se sostienen los intercambios comunicativos didácticos [2]. De esta motivación ha resultado un trabajo conjunto entre la empresa privada e-educativa y el equipo de investigadores de la UNR, el que ha culminado con la integración de ambos sistemas. Dicha integración es la que se comunica en este artículo.

## II. DESCRIPCIÓN

Existen antecedentes relativamente recientes en el ámbito iberoamericano de integración de laboratorios remotos con plataformas de e-learning [2] [9]. En todos los casos, se trata de desarrollos propios de laboratorios remotos en instituciones universitarias con plataforma Moodle, de código abierto. En este caso, se trata de un SGA propietario. Al respecto, e-educativa es una empresa enfocada en los procesos de e-learning, nacida en la ciudad de Rosario, Argentina, pero con expansión internacional, cubriendo hoy nueve países. Soporta tecnológicamente en Argentina, entre otros, el Campus Virtual del Instituto Nacional de Formación Docente del Ministerio de Educación de la Nación (<http://campus.infed.edu.ar/aula/acceso.cgi>). “e-educativa” tiene desarrollado un conjunto de productos y servicios que se implementan como sistemas modulares y complementarios para brindar una solución ajustada a los

F. Lerro es responsable técnico del Laboratorio Remoto de la FCEIA, Auxiliar Docente de Primera categoría e investigador de la Universidad Nacional de Rosario, Argentina; e-mail: flerro2@yahoo.com.ar

S. Marchisio es Profesora Titular e investigadora de la Universidad Nacional de Rosario, Argentina; e-mail: timbucorreo@gmail.com

E. Perretta es estudiante de la Carrera Ingeniería Electrónica y adscrito al Laboratorio Remoto de la FCEIA, en la Universidad Nacional de Rosario, Argentina; e-mail: emmanuel\_ap85@hotmail.com

S. Martini, H. Massacesi, A. Gimenez, N. Aimetti, J. Oshiro pertenecen al staff y equipo de desarrolladores de la empresa e-educativa con sede en la ciudad de Rosario, Argentina; e-mail: hmassac@e-educativa.com

requerimientos de las instituciones, buscando acompañar el crecimiento de los proyectos para la empresa una nueva aplicación modular que se integra en el SGA desarrollado, respetando esa filosofía .

Básicamente, la integración requiere de tres componentes principales: A) el laboratorio remoto, que comprende tanto el laboratorio propiamente dicho como el software y hardware que permiten operarlo a distancia; B) el SGA o sistema de administración del conocimiento; y C) una interfaz entre el SGA y el Laboratorio Remoto que debió desarrollarse íntegramente.

*A. El Laboratorio Remoto: Prestaciones y Funcionalidad*

El acceso directo al Laboratorio Remoto de Física Electrónica se realiza sin necesidad de instalar ningún plug-in ni aplicación adicional al navegador web. Esta característica lo hace potente en lo que refiere a las posibilidades de acceso dado que desde cualquier PC con mínimos requerimientos, desde un Cyber, o desde el teléfono móvil, el estudiante puede conectarse y realizar las experiencias, utilizando un nombre de usuario y una clave personalizados (Figura 1).

La descripción detallada de la estructura de este Laboratorio Remoto ha sido comunicada en anteriores oportunidades [4] [5] [8]. Brevemente, se destaca que, a través del mismo, los estudiantes pueden realizar los siguientes ensayos:

- Diodo de juntura bajo polarización directa
- Diodo de juntura bajo polarización inversa
- Diodo Zener bajo polarizaciones directa e inversa.
- Transistores bipolares de germanio y de silicio en modos de operación activo e inverso.
- Transistor unijuntura
- Transistor de efecto de campo de juntura (J-Fet);
- Fototransistor
- Diodo emisor de luz (Led) infrarrojo

Los resultados de los diversos ensayos pueden ser visualizados en forma de tablas y gráficos, representándose puntos, tramos de curvas y curvas completas, según haya sido requerido por el usuario. En el caso de representaciones gráficas es posible modificar escalas de los ejes de las curvas graficadas, de manera de poder observar mejor ciertas características de cada uno de los dispositivos (Figura 2)

Las prestaciones más importantes del laboratorio remoto son:

- Independencia de plataforma de acceso (compatible con distintos exploradores tales como Mozilla, Internet Explorer, Opera)
- Interfaz sencilla, intuitiva, de fácil uso
- Acceso sólo a usuarios registrados
- Recuperación por parte de cada usuario de sus ensayos previos. Al respecto, durante la realización del experimento, los eventos son guardados en el servidor de base de datos del laboratorio por lo que el alumno tiene la posibilidad de recuperar los datos y visualizar los resultados del experimento.
- Ingreso a más de un usuario mediante el empleo de un buffer. Específicamente, si al mismo tiempo más de un estudiante desea realizar un ensayo mediante el laboratorio remoto, el sistema habilita a uno de ellos mientras los restantes quedan en espera. Cuando el primer test finaliza, el sistema habilita a un segundo y así sucesivamente.
- Exportación de datos a planilla Excel a los fines de análisis y tratamiento posterior de los datos.

Las unidades del programa de la asignatura en las que se ha incorporado el uso por los estudiantes del laboratorio remoto son los relacionados con los temas Junturas y Transistores Bipolares. El primero de los temas es esencial para entender el comportamiento de diferentes diodos semiconductores y para el estudio de los procesos físicos que explican el comportamiento de casi todos los dispositivos semiconductores. El segundo tema exige la comprensión de los procesos electrónicos que resultan en estructuras más complejas, involucrando análisis de junturas en interacción.

La integración del laboratorio remoto se llevó a cabo a través de la inclusión de dos actividades diferentes, en modalidad de problemas abiertos a resolver por los estudiantes en forma autónoma, con discusión de resultados en clases teóricas y entrega de informe final para su evaluación por el docente [7]. Se ha buscado con ello promover en la estructura cognitiva de los estudiantes la vinculación entre los conceptos físicos que sustentan el comportamiento electrónico de los dispositivos con las curvas características obtenidas mediante el ensayo [6]



Figura 1. Interfaz de ingreso al Laboratorio Remoto

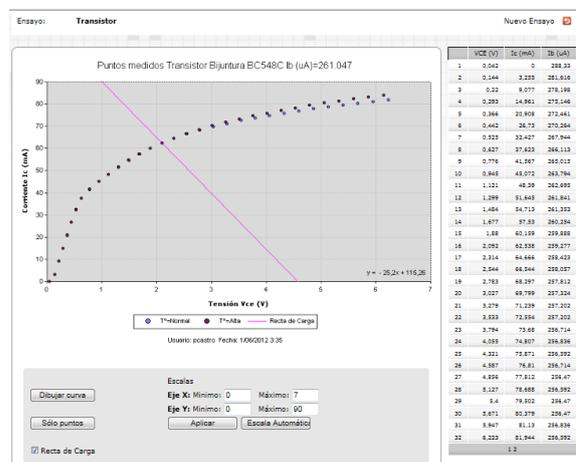


Figura 2. Pantalla de resultados de uno de los ensayos del transistor bipolar

### B. El SGA e-educativa: Características y Funcionalidad

El SGA e-educativa es un entorno de trabajo que integra servicios de información, novedades, mensajería, Chat, Foros de discusión, depósito de Archivos, Wikis, Encuestas, Videoconferencia, evaluaciones, calificaciones, datos de docentes y alumnos, calendario de actividades, entre otros.

Técnicamente, el SGA e-educativa está desarrollado en lenguaje PERL y HTML y utiliza sistema de bases de datos MySQL. Son sus características:

- Multiplataforma Intranet / Internet.
- Multisistema: Windows, Linux, Unix, Solaris
- Multi idioma: inglés, español, italiano, portugués.
- Sistema de gerenciamento y administración de alumnos, tutores, cursos y evaluaciones en línea.
- SCORM compatible.

Desde la perspectiva de la administración, la SGA permite:

- Configurar de modo automático para dar servicios a seis tipos de grupos diferentes: cátedra, a distancia, curso, postgrado, grupo de trabajo, investigación
- Configurar manualmente hasta 6 perfiles distintos de usuarios, definiendo desde el nombre del perfil, hasta los permisos: alumnos, ayudantes, tutores, directivos, coordinadores, invitados
- Solicitar variedad de reportes de seguimiento y estadísticas, incluyendo un control total de los materiales leídos y secciones visitadas
- Importar ficheros con grupos de usuarios
- Administrar recursos pedagógicos, anuncios, encuestas, mensajería, foros y chat, con variedad de herramientas para editar y gestionar tanto cursos como evaluaciones

En lo que refiere a administración, diseño, tratamiento y desarrollo didáctico de contenidos y actividades de aprendizaje, la SGA dispone de:

- Un editor de contenidos con interface intuitiva y sencilla.
- La posibilidad de que un mismo contenido se desarrolle en colaboración entre múltiples autores.
- La posibilidad de asignación individual, o por grupos, de materiales, trabajos y actividades.
- Control personal, por parte del alumno, de su avance en un curso (visión detallada de sus materiales leídos y pendientes).
- La posibilidad de informar las calificaciones de los trabajos realizados, con acceso privado para cada alumno, y acceso total para el profesor.

En lo que refiere a funcionalidades para la comunicación, la SGA ofrece:

- Posibilidad de implementar encuestas en los diferentes grupos de alumno
- Administración de noticias y novedades, con capacidad de incorporar imágenes y enlaces a páginas web externas a la plataforma.
- Indicación al usuario de la existencia de nuevas actividades que debe atender, toda vez que accede a la plataforma.
- Envío de mensajes institucionales a todos los usuarios de un grupo, de distintos grupos, o a tipos de usuarios de uno o más grupos.
- Administración de calendario de eventos.

- Correo electrónico propio o mediante empleo de cuentas POP3.
- Comunicación entre los miembros / usuarios del aula y visualización de datos personales que cada uno publica.
- Sistema de administración de Foros de Debate, Sala de Chat, con posibilidad de realizar charlas en privado y anuncio de ingresos on line.
- Netmeeting embebido, lo que permite utilizar esta pizarra compartida.
- Posibilidad de realizar videochat entre dos usuarios.

### C. Las Características de la Integración

A los efectos de la integración de la GSA con el Laboratorio remoto, se llevó a cabo:

- Unificación de autenticación: ambos sistemas tienen una forma de autenticación independiente; se unificaron ingresando desde la SGA, para los usuarios que están realizando cursos en el SGA.
- Implementación de seguridad: Como mecanismos de seguridad, se emplearon el método de encriptación RecripCypher versión 4 (RC4) y el Message-DigestAlgorithm 5 (MD5) para verificar la validez de los datos enviados desde y hacia la plataforma
- Rediseño de interfaz del Laboratorio Remoto: El mismo se realizó en coherencia con el diseño provisto por la plataforma, utilizando plantillas CSS y HTML5. Fue comprobado su correcto funcionamiento en todos los navegadores modernos disponibles tanto para PC como para dispositivos móviles.
- Administración de usuarios: Del lado de la plataforma, los usuarios son los estudiantes y profesores que utilizan el SGA. El laboratorio tiene registrada el ID de instalación de la plataforma y una contraseña acordada mutuamente vinculada a la misma ID.
- Administración de contenidos: Los contenidos del laboratorio remoto están administrados desde el sistema Laboratorio Remoto

El modo de integrar los dos sistemas se representa en el siguiente esquema (Figura 3).

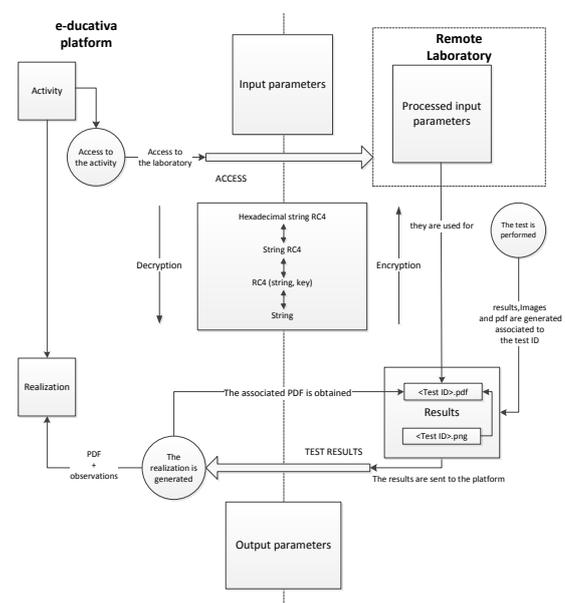


Figura 3. Características de la integración



Figura 4. Pantalla de administración de actividades del SGA

III. FUNCIONAMIENTO DE LA INTEGRACIÓN

El recurso Laboratorio Remoto se integra modularmente en el SGA como Actividad. El usuario que puede crear la actividad que habilite el empleo del Laboratorio Remoto es el profesor, responsable de administrar los contenidos del Programa de la asignatura o curso en el aula virtual (Figura 4).

Para que una actividad utilice el laboratorio remoto se debe crear, tildando la opción: “Se entrega mediante laboratorio remoto”. En la vista del estudiante, la actividad ya creada se visualiza del siguiente modo (Figura 5).

Luego de realizada la actividad por el estudiante; el profesor hace la devolución, pudiendo aprobar o no la actividad. Por ejemplo, puede solicitar que el estudiante rehaga la experiencia y el informe. En este caso, la vista correspondiente al estudiante será la que se muestra en la Figura 6.

Luego de presionar sobre el botón “abrir laboratorio remoto” aparece una nueva ventana, que corresponde al menú principal dentro del sistema Laboratorio Remoto. Ya dentro del Laboratorio Remoto, el estudiante puede solicitar realizar un nuevo ensayo o ver resultados de un ensayo anterior (Figura 7).

De ello surgirá una pantalla de Resultados, conteniendo datos en forma de tabla y gráfico (Figura 8). Para que los datos “viajen” al aula en el SGA, desde la misma pantalla se presiona el botón “Exportar a Aula Virtual”. Con ello se abre una nueva ventana (Figura 9). En ella el estudiante redacta el informe del ensayo y lo envía al profesor para su corrección presionando sobre el botón “enviar”.

Con el reporte del estudiante y los resultados del ensayo, el sistema genera un informe de la actividad en forma de archivo con extensión pdf. Dicho informe aparece en la vista del profesor como lo muestra la Figura 10.

IV. CONSIDERACIONES FINALES

El cómo implementar la integración del Laboratorio Remoto y la plataforma e-ducative se nutrió de una idea concretada por un equipo de investigadores de la Universidad Nacional de Educación a Distancia [9]. En esa oportunidad, se trató de un SGA implementado en Moodle. En ese antecedente sólo se planteó la posibilidad que desde el SGA se pueda acceder al laboratorio remoto de un modo directo. La verificación de usuario la realizaba internamente el SGA en el Laboratorio Remoto, siendo la misma transparente para el usuario final. En el caso que se presenta en este artículo, dicho proceso ha sido perfeccionado mediante el agregado de encriptación mejorando la seguridad. Además se implementó la devolución de los ensayos al SGA. Este mismo esquema o



Figura 5: Vista del estudiante de la actividad con Laboratorio Remoto



Figura 6: Vista del estudiante incluyendo el botón “abrir laboratorio remoto” en el cuadro de diálogo Realizar Actividad

protocolo puede fácilmente implementarse en el futuro para cualquier otro SGA. Por otra parte, con base en el concepto de escalabilidad, es posible la inclusión de un nuevo experimento con sólo llevar a cabo un trabajo limitado a las particularidades del mismo.

En lo que refiere al uso, el proceso de desarrollo tecnológico descrito está siendo empleado en dictados regulares de la asignatura Física IV por estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica de la UNR; pero además está disponible para extender su utilización a un mayor número de instituciones de educación tecnológica, universitarias y no universitarias, tanto del país como del extranjero. Las primeras evaluaciones en uso dan cuenta de una gran aceptación por parte de los estudiantes. Al respecto, del análisis comparativo con estudios anteriores realizados por el equipo de investigadores de la universidad, surgen como resultados preliminares el logro de mejoras en

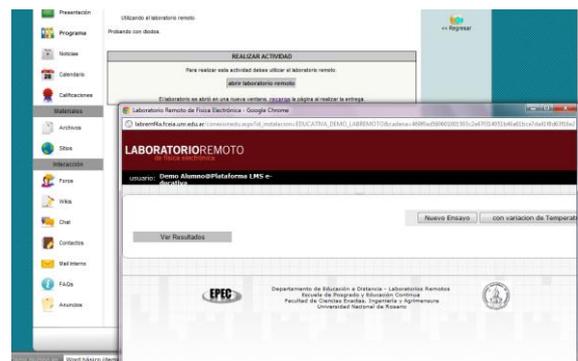


Figura 7: Pagina inicial del Laboratorio. El estudiante puede solicitar realizar un nuevo ensayo o ver resultados de un ensayo anterior.

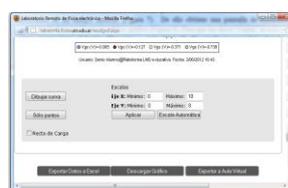


Figura 8. Pantalla de resultados vista desde el SGA



Figura 9. Espacio de escritura del estudiante para la redacción del informe de la actividad

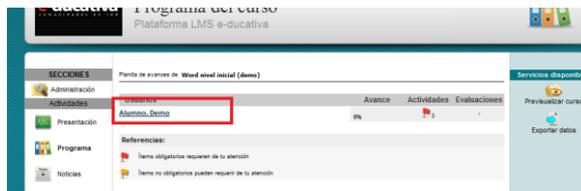


Figura 10. Vista del profesor con la entrega del estudiante. La bandera roja muestra que la actividad no ha sido evaluada

la interfaz y en los modos de acceso. Estos aspectos, así como la mejora de la seguridad, fueron cuestiones especialmente contempladas en esta integración.

#### REFERENCIAS

- [1] O. Fernandez, P. Borges, M. Pérez-Lisboa, N. Peixoto and F. Ramirez-Fernandez. "Laboratório virtual aplicado à educação a distância". *Instrumentation Newsletter*; <http://sim.lme.usp.br/~nathalia/publication/sbie00.pdf>.
- [2] J. García-Zubia, P. Orduña, J. Irurzun, I. Angulo and U. Hernández," Integración del laboratorio remoto WebLab- Deusto en Moodle". *MoodleMootEuskadi 2009*, Universidad de Deusto. Bilbao (Spain). May. 2009. (On line 22/10/2010 in <https://www.weblab.deusto.es/joomla/publications.html>).
- [3] F. Lerro and M. Protano, "Web-based Remote Semiconductors Devices Testing Laboratory", *International Journal of Online Engineering* Vol: 3 Issue: 3. 2007 (On line 03/04/2009, <http://online-journals.org/index.php/i-joe/article/view/432>)
- [4] F. Lerro, S. Marchisio,; M. Plano, M. Protano. &O. Von Pamel. "A remote lab like a didactic resource in the teaching of the physics of electronic devices", In Auer, M. (Ed.), *CD Proceedings 11th International Conference on Interactive Computer aided Learning (ICL2008)*; Kassel University Press.2008.
- [5] F. Lerro; S. Marchisio; O. Von Pamel. "Exploring didactic possibilities of an electronic devices remote lab with students of Electronic Engineering", *Proceedings ICBL2009*. Florianopolis, Brazil. 2009.
- [6] F. Lerro, S. Marchisio, E. Perretta, M. Plano and M. Protano. "Using the Remote Lab of Electronics Physics ("LaboratorioRemoto de FísicaElectrónica") to Support Teaching and Learning" in *Using Remote Labs in Education*. J. García Zubía and G. Alves. Eds. Universidad de Deusto, 2012, pp. 211-230
- [7] S. Marchisio; F. Lerro; O. Von Pamel. "Empleo de un laboratorio remoto para promover aprendizajes significativos en la enseñanza de los dispositivos electrónicos". *PÍXEL BIT. Revista de Medios y Educación*. Nº. 38, 2011, pp. 129-139
- [8] E. Sancristobal; S. Martín.; R. Gil; C. Martínez; E. López; N. Oliva; F. Mur; G. Díaz; M. Castro. 2008. "Development and Interaction between LMS Services and Remote Labs". *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, Vol 4, No 3. 2008.



**Federico Lerro** es Ingeniero Electrónico egresado de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA), Universidad Nacional de Rosario (UNR), en Argentina. Es Auxiliar Docente de la carrera Ingeniería Electrónica, integrante del grupo de investigación Educación Mediada por Tecnologías en Ciencias e Ingeniería (GIEMTeCI) y responsable técnico del Laboratorio Remoto en la misma institución.



**Susana Marchisio** es Ingeniera Electricista, por la Universidad Nacional de Rosario (UNR), en Argentina y Doctora Ingeniera Industrial por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), en España. Es Profesora Titular y Directora del grupo de investigación Educación Mediada por Tecnologías en Ciencias e Ingeniería (GIEMTeCI) en la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la UNR.



**Sebastián Martini** es Ingeniero en Sistemas Informáticos y presidente de la empresa e-ducativa, de desarrollos de e-learning en Rosario, Argentina.



**Horacio Massacesi** es Ingeniero en Sistemas Informáticos y Director Ejecutivo de la empresa e-ducativa, de desarrollos de e-learning en Rosario, Argentina.



**Emmanuel Perretta** es estudiante de Ingeniería Electrónica en la Universidad Nacional de Rosario y adscrito al Laboratorio Remoto de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) de la UNR



**Andrés Gimenez** es integrante del equipo técnico de la empresa e-ducativa, de desarrollos de e-learning en Rosario, Argentina



**Nicolás Aimetti** es director de tecnología de la empresa e-ducativa, de desarrollos de e-learning en Rosario, Argentina



**Juan Ignacio Oshiro** es Ingeniero en Sistemas Informáticos y coordinador técnico de proyectos de la empresa e-ducativa

# Uso de dispositivos móveis para acesso a Experimentos Remotos na Educação Básica

Juarez B. da Silva, *Member, IEEE*, Willian Rochadel, *Member, IEEE*, José P. S. Simão e André Vaz da Silva Fidalgo

**Title—** Using mobile devices to access the Remote Experiments in Basic Education.

**Abstract—** Neste documento relatamos uma experiência de uso das TICsem cenário educativo atual no âmbito da Educação Básica a partir da utilização de dispositivos móveis. Para isso apresentaremos projeto piloto desenvolvido pelo Laboratório de Experimentação Remota (RExLab), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e co-executado pela Escola de Educação Básica Maria Garcia Pessi em Santa Catarina, Brasil. O projeto conta com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da empresa mineradora Vale do Rio Doce no âmbito do programa Forma-Engenharia que tem como objetivo despertar o interesse vocacional dos alunos da Educação Básica pela profissão de engenheiro e pela pesquisa científica e tecnológica. O desenvolvimento está baseado em conteúdos educacionais que são acessados através de dispositivos móveis e complementados através da utilização de experimentos remotos. A integração entre os dispositivos móveis, ambiente virtual de aprendizagem (AVA) e experimentos físicos acessados remotamente proporciona aos alunos uma nova maneira de interagir com a disciplina de física de maneira simples e agradável em qualquer lugar e a qualquer momento. A arquitetura implementada no projeto piloto apresentado está baseada totalmente em recursos de software de código aberto e open-hardware que incluem o sistema de gestão de aprendizagem (Moodle), o software aplicativo RExMobile e os experimentos remotos desenvolvidos pelo RExLAB.

**Index Terms—** remote experimentation, mobile devices, disciplines of physics, HTML5, mobile learning, High School.

## I. INTRODUÇÃO

É assunto recorrente na imprensa em geral a preocupação com a falta de engenheiros para os próximos anos no Brasil motivado principalmente a partir de temas como as descobertas das reservas de petróleo e gás do pré-sal e os preparativos para o país sediar a Copa do Mundo em 2014 e os Jogos Olímpicos em 2016. Segundo dados do Censo de Educação Superior (Inep/MEC), o Brasil formou apenas 38 mil engenheiros em 2010, números bem inferiores a seus parceiros no BRICS onde a China formou 650 mil, a Índia 220 mil e a Rússia 190 mil. Segundo a Federação Nacional

dos Engenheiros do Brasil (FNE) o país vai precisar até 2015 de 300 mil novos profissionais o que representa um número anual de 60 mil novos especialistas, ou seja, a realidade está 63% abaixo da necessidade. São muitas as explicações para o problema vão desde a velocidade do crescimento econômico passam pelo baixo número de ingressantes nos cursos de Engenharia a falta de interesse e vão até a evasão nos cursos superiores nas áreas das engenharias (em torno de 60%).

O baixo número de alunos ingressantes nos cursos de Engenharia, que conduzem a uma elevada ociosidade das vagas oferecidas, nos leva a refletir sobre possíveis motivos que não motivam o ingresso dos jovens nos cursos de engenharia. Possivelmente a formação deficitária na Educação Básica em disciplinas nas áreas de matemática, física e química seja um fator inibidor do acesso dos alunos aos cursos de Engenharia e posteriormente um fator que inviabiliza a sua permanência, pois, apresentam dificuldades para acompanhar os cursos.

A presença expressiva dos dispositivos móveis na vida das pessoas tem alterado de forma significativa os estilos de vida da sociedade, em particular dos jovens. A ubiquidade dos dispositivos móveis e a sua contínua utilização fazem com que esta tecnologia se constitua em elemento frequente em suas vidas através de múltiplas práticas que incluem gestão e manuseio da tecnologia bem como a colaboração. Embora sejam práticas que potencializam o desenvolvimento de competências essenciais na sociedade atual ainda estão contidas em um contexto informal. Laura Naismith et al afirmam que “não tem sentido, que em um sistema educativo com recursos tecnológicos limitados não se tente tirar o máximo partido do que os jovens trazem para as aulas”, logo, é razoável pensar na utilização destas tecnologias utilizadas massivamente pelos jovens e altamente personalizadas em contextos informais possam conectar contextos de aprendizagem informais e formais. Assim a utilização de ambientes de ensino-aprendizagem em cenários de M-Learning certamente irá aproximar mais os jovens do seu cotidiano aproximando assim a escola de sua realidade diária.[1][2]

Nas seções que seguem estaremos focados na apresentação de projeto de pesquisa em desenvolvido no Laboratório de Experimentação Remota (RExLab) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) que tem como principal objetivo despertar o interesse vocacional de alunos da Educação Básica<sup>1</sup> pela profissão de engenheiro e

<sup>1</sup>No Brasil, a educação básica compreende a educação infantil, o ensino fundamental e o ensino médio, e tem duração ideal de dezoito anos.

Juarez Bento da Silva, Willian Rochadel e José Pedro S. Simão encontram-se no Remote ExperimentationLab (RExLab) na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Araranguá, Santa Catarina, Brasil. Telef. +55 48 37212198; e-mail: [juarez.silva@ieee.org](mailto:juarez.silva@ieee.org)

André Vaz da Silva Fidalgo encontra-se no CIETI-LABORIS no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) do Instituto Politécnico do Porto (IPP), Porto, Portugal. Telef. +351 22 8340500; e-mail: [anf@isep.ipp.pt](mailto:anf@isep.ipp.pt)

pela pesquisa científica e tecnológica por meio de interação com Instituição de Ensino Superior (IES).

O projeto desenvolvido pelo RExLab e co-executado pela Escola de Educação Básica Maria Garcia Pessi contempla o acesso a conteúdos didáticos dispositivos móveis, que são complementados pelo acesso a experimentos remotos em disciplinas de física da Educação Básica em escola pública no município de Araranguá em Santa Catarina. Acreditamos que esta proposição possa representar aportes aos atuais modelos educacionais e que motivar e instigar os alunos nestas disciplinas e quem sabe auxiliar no combate a evasão dos graduandos nos primeiros anos dos cursos de engenharia.

## II. EDUCAÇÃO MÓVEL (M-LEARNING)

Os avanços tecnológicos abrem as portas para novas formas e oportunidades e desafios para desenvolvimento de novos métodos de apoio ao processo de ensino e aprendizagem. Em particular o desenvolvimento das tecnologias móveis e suas implicações e aplicações no campo educacional tem despontado recentemente com um campo de pesquisa focado em um nova forma do aproveitamento das TICs afim de acessar informações mediante dispositivos móveis. Este enfoque é comumente conhecido como Mobile Learning (m-learning) ou aprendizagem com mobilidade mediante o uso de dispositivos móveis do tipo telefones móveis básicos, “tablets”, PDAs, reprodutores MP3, memórias USB, dispositivos de leitura eletrônica e Smartphones.

As dispositivos móveis por si mesmos não se constituem em ferramentas educativas úteis tornando-se imprescindível a pesquisa sobre o uso pedagógico destes, afim de permitir seu uso interativo e colaborativo orientado ao ensino e aprendizagem por parte de seus usuários. Kukulska-Hulme e Traxler mencionaram que os recursos didáticos disponibilizados através de dispositivos móveis podem potencializar o contexto dos processos de ensino e aprendizagem a partir da concepção de novos métodos, práticas e desenvolvimentos que contemplem as características tecnológicas particulares que têm estes dispositivos. Características estas evidenciadas pela portabilidade do dispositivo que potencializadas pela sua capacidade de conexão para comunicações espontâneas e colaborativas, capacidade de prover informação de dispositivo para dispositivo, localização imediata de dados e informação e os recursos multimídia neles embutidos. [3]

Buscando a consolidação como um campo de pesquisas a partir da última década a m-learning tem evoluído, porém é um campo onde não há unanimidade sobre seu conceito [4]. Para autores como Traxler, Parsons e Ryua tecnologia móvel e a aprendizagem aparecem indissoluvelmente unidos onde percebem m-learning como a aplicação dos dispositivos móveis para fins educativos. Outros autores consideram a m-learning como uma evolução do b-learning a partir da incorporação do valor da ubiquidade da aprendizagem, ou seja, a possibilidade e acessar os conteúdos de aprendizagem em qualquer momento e em qualquer lugar. [5][6][7] E finalmente outros pesquisadores que consideram a m-learning como uma nova modalidade de ensino à distância focada no estudante a partir de dois aspectos centrais: mobilidade e contexto de aprendizagem.

Este conceito associa ubiquidade da aprendizagem à mobilidade relacionando-as a um contexto de ensino e aprendizagem dos estudantes facilitado pelos dispositivos móveis. Autores como Sharples, Taylor e Vacuola [8] consideram que o importante não é a tecnologia e sim o conceito de mobilidade. Para estes autores a terminologia do conceito de m-learning tem três implicações: mobilidade física, mobilidade tecnológica e mobilidade social.

Somos parte de uma cultura e de uma sociedade tecnológica na qual a educação não pode manter-se a margem. Os dispositivos móveis estão nas mãos de alunos e professores o que representa economia em relação ao investimento em equipamentos tecnológicos nas instituições de ensino, logo, deve-se pensar na utilização dos dispositivos móveis, através da m-learning, como uma oportunidade para fomentar o uso da tecnologia na área educativa. Porém, não se deve considerar a m-learning como um fim e sim como um meio facilitador de oportunidades de aprendizagem, especialmente quanto existe movimentação física, pois, o movimento mudará o contexto da aprendizagem.

## III. EXPERIMENTAÇÃO REMOTA

As características de acesso e manuseio de um laboratório comum se mostram atraentes e fascinantes ao ensino de ciências. No entanto, devido a falta de laboratórios, a alternativa no ambiente escolar são os laboratórios virtuais ou simuladores que apenas retornam valores e observações gravadas ou previamente calculadas, esta previsão de resultados deixa de demonstrar importantes aspectos da realidade e a real aplicação do experimento com os demais fatores naturais.

Esta dinâmica de interação de modo real é uma difícil substituição e falha nos conceitos de aplicação da teoria, ao mesmo momento que manter experimentos em um laboratório gera custos e há dificuldades de espaço ou manutenção nas escolas públicas. Por outro lado, algumas instituições possuem diversos experimentos e de aplicação bastante interação para observação e uso de alunos no ensino básico, mas impedidos de interagir pela distância geográfica ou disponibilidade de tempo para visitas, ou seja, interessantes experimentos fechados em laboratórios e estudantes que necessitam desta aplicação prática dos estudos realizados em sala de aula.

A partir da ideia de disponibilizar experimentos reais para que os alunos tenham livre acesso e possa interagir, observar realizando suas experiências e aplicando seus conhecimentos alguns laboratórios têm disponibilizado seus experimentos para acesso remoto através da internet.

Este recurso é bastante comum em muitas Instituições de Ensino Superior (IES) as aulas expositivas nas áreas das ciências, tecnologia e engenharias são frequentemente complementadas por laboratórios de experimentação remota onde os estudantes podem observar fenômenos dinâmicos que são muitas vezes difíceis de explicar através de material escrito. As plantas de experimentação remota aumentam a motivação dos alunos e também desenvolvem uma abordagem realista para resolver problemas. Diferentemente dos laboratórios virtuais, onde todos os processos são simulados, o laboratório de experimentação remota possibilita a interação com processos reais permitindo ao

utilizador uma análise dos problemas práticos do mundo real. Isto faz com que estes laboratórios levem certa vantagem em relação aos laboratórios virtuais, pois segundo Casini[9] os “laboratórios remotos permitem ao estudante interagir com processos reais”.

Logo, conclui-se que estes laboratórios são aqueles em que os elementos são reais, seu acesso é virtual e as suas experiências reais. Segundo Nedic[10], encontramos as seguintes vantagens nos laboratórios remotos:

- As informações são reais;
- Há interação direta com equipamentos reais;
- Há feedback do resultado das experiências on-line.
- Não há restrições nem de tempo e nem de espaço;
- Possui um custo médio de montagem, utilização e manutenção;

Para facilitar o uso destes recursos, o RExLab busca realizar soluções de baixo custo na pesquisa e desenvolvimento, priorizando o uso de open source e open hardware para criar, gerenciar e disseminar o conhecimento.

#### A. Os experimentos remotos

Os experimentos são adaptações de equipamentos reais conectados com circuitos atuadores e que permitem interação através da Internet. Portanto, experimentos remotos são experiências reais, com elementos físicos que interagem por comandos virtuais, sendo assim, não há restrições nem de tempo e nem de espaço, as interações são diretas com equipamentos reais, tem-se o feedback dos resultados das experiências online e, um ponto fundamental, por um baixo custo de montagem, utilização e manutenção[11].

O usuário pode ativar as experiências disponibilizadas remotamente através do browser do próprio aparelho e com uma conexão wireless com acesso à internet. O site é desenvolvido em PHP e utiliza o JavaScript para a interface, possibilitando a interação com os experimentos que estão ligados aos microservidores Web com porta ethernet.

Ao interagir com o experimento pela Internet, são encaminhados dados para estes dispositivos que acionam relés e estes, por sua vez, controlam atuadores e fazem o experimento funcionar fisicamente. Deste modo, o ambiente remoto possibilita controlar diferentes dispositivos como motores, circuitos, sensores e sistemas de segurança, enquanto observam-se os efeitos dinâmicos muitas vezes complexos de serem explicados, mas compreensíveis em abordagens realistas para resolver problemas.

#### B. Hardware

O hardware dos experimentos remotos utilizados no projeto está baseado nos microservidores Web (MSW) desenvolvidos no RExLab (Fig.1).

O MSW (Fig. 1) construído no RExLab pode ser descrito como um dispositivo autônomo que tem a capacidade de conectar dispositivos elétricos a uma rede Ethernet, baseado em microcontrolador de baixo custo e baixo consumo, utilizando para a comunicação de dados o protocolo TCP/IP e que, permite adquirir, controlar e monitorar remotamente estes dispositivos de maneira segura, eficiente e econômica, mediante o uso de um navegador padrão para Internet. A funcionalidade do MSW pode ser facilmente ampliada adicionando-se ao mesmo, aplicações que lhe

proporcionarão a capacidade de monitorar e/ou controlar dispositivos. Para tanto, o MSW permite a utilização de JavaScript (embutidos ou em código HTML ou como arquivos separados) e Java applets, juntamente com código HTML, rotinas CGI e imagens. Desta forma, acessando-se a página web que contém tais códigos, o usuário terá acesso ao estado atual do dispositivo controlado pelo MSW, ou do ambiente por ele monitorado. O MSW pode ser visualizado na **Figura 1** e atualmente é construído a um custo de US\$ 28,20, consumo de potência em modo normal de operação de 40mA e dimensões de 75 mm x 95 mm.

A observação dos dispositivos é feita através de streaming de vídeo de uma Camera IP ligada diretamente com a rede, esta tipo de câmera é comumente utilizada em sistema de monitoramento de imagens.

A figura 2 apresenta o hardware utilizado no experimento disponibilizado para acesso remoto denominado “meios de propagação do calor” que buscar ilustrar o estudo dos meios de propagação do calor e demonstra as propagações por condução, convecção e irradiação e também compara o grau de isolamento térmico entre diferentes materiais. O acesso ao experimento pode ser efetuado através de endereço <http://rexlab.ufsc.br>.



Fig. 2. Experimento denominado “meios de propagação de calor”

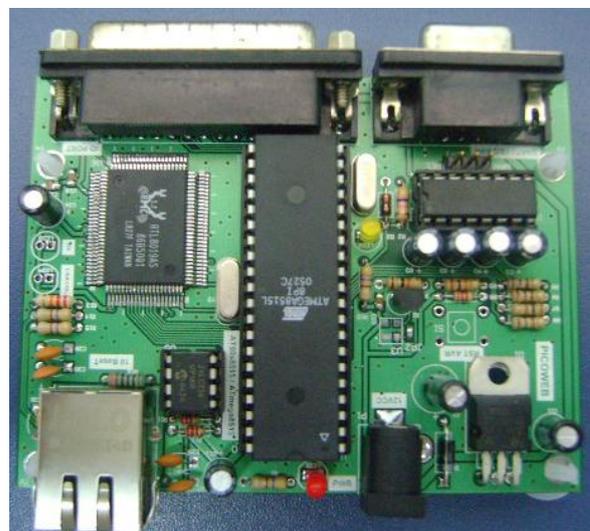


Fig. 1. Microservidor WEB (MSW) desenvolvido pelo RExLab

### C. Software

Para acesso através de dispositivos móveis no projeto apresentado é utilizado o aplicativo RExMobile (Figura 3) desenvolvido no REXLab. O desenvolvimento do aplicativo utilizou recursos da linguagem HTML5 (Hypertext MarkupLanguage, versão 5) integrada ao CSS3 (CascadingStyleSheets, versão 3) é uma linguagem variante do XML (ExtensibleMarkupLanguage) que permite criar padrões leves e de boa aparência, design e uma interessante experiência ao usuário.

Estes interessantes recursos de HTML5 e CSS3 são integrados pelo framework jQuery Mobile, que emprega um sistema unificado apropriado para aplicações Web em aparelhos móveis [12] e a implementação de JavaScript de alto nível, que gera códigos compatíveis com iOS, Android, Windows Phone, Symbian, BlackBerry, entre outros importantes Sistemas Operacionais móveis. Na Figura 3 é possível visualizar o acesso ao experimento “meios de propagação de calor” através de dispositivos móveis utilizando o aplicativo RExMobile.

### IV. EXPERIMENTAÇÃO REMOTA INTEGRANDO DISPOSITIVOS MÓVEIS

A experimentação remota dá a oportunidade de um interessante formato de estudo que alia a prática em laboratórios mesmo o usuário distante deste. Esta experiência de interagir com os experimentos reais em laboratórios remotos permitem uma imersão real que diferencia dos simples simuladores ou laboratórios virtuais que disponibilizam apenas experiências gravadas e resultados simulados [13].

Disponibilizar destes importantes recursos da experimentação remota nos dispositivos móveis permite um novo espaço de interação que alia justamente a ideia de ambientes ubíquos, ou seja, a imersão do usuário em acessar um laboratório a qualquer momento e em qualquer lugar e utilizando o seu próprio smartphone.

Pois, ao proporcionar que se possa ultrapassar a barreira das salas de aula busca-se um diferencial em relação ao simples uso de laboratórios virtuais que apenas simulam simulações e não interagem com equipamentos reais. A partir de um dispositivo móvel, com acesso a internet, o aluno poderá acessar em qualquer momento as experiências disponíveis nos laboratórios, interagindo com os equipamentos reais e conferindo os conceitos que são estudados em sala de aula, podendo relacionar o conhecimento com a observação dos experimentos.



Fig. 3. Experimento “meios de propagação de calor” acessado através de dispositivo móvel

Ao proporcionar esta interação aos alunos, o aplicativo RExMobile (Fig. 4) tem possibilitado um novo meio de interação aos experimentos remotos e em que o professor usufrui deste recurso como auxiliar para as suas aulas, em especial nas aulas de ciências no ensino básico.

Na Figura 2 apresentamos a arquitetura implementada no projeto piloto.

Assim como em um laboratório real de utilização presencial, este modelo de aplicação tem a dificuldade da limitação física, afinal o experimento pode ser consultado por diferentes usuários simultaneamente. Algumas alternativas como agendamento, fila, prioridade ou mesmo gravação têm sido sugerido aos laboratórios remotos.

A limitação de tempo e controle por fila é uma interessante alternativa por permitir o acesso imediato, sem a necessidade de aguardar longos períodos, sendo que o usuário tem livre acesso pelo período que for necessário até que haja outros na fila, em que, caso ocorra, um período de tempo é determinado até a retirada do usuário.

Autores como Kukulska-Hume [14] citam como vantagens que a m-learning:

- Permite a aprendizagem em qualquer momento e lugar.
- Pode melhorar a interação didática nas formas síncrona e assíncrona.
- Potencializar a aprendizagem centrada no aluno.
- Permite o enriquecimento multimídia da aprendizagem.
- Permite a personalização da aprendizagem.
- Favorece a comunicação entre os alunos e as instituições educacionais.
- Favorece a aprendizagem colaborativa.

A ideia e o desenvolvimento do aplicativo RExMobile foi premiado na 2ª colocação da Campus Mobile promovida pelo Instituto Claro como um dos mais inovadores entre mais de 1300 ideias de todo o Brasil. A aplicação nas aulas de ciências no ensino básico utilizando o RExMobile permite aos alunos a interação com os experimentos através dos próprios smartphones [15].

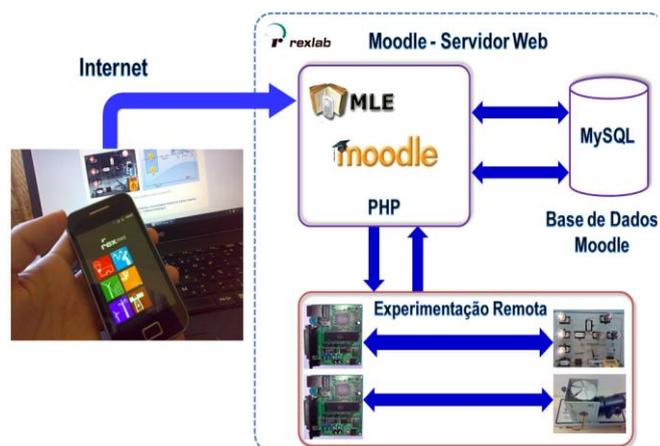


Fig. 4. Arquitetura implementada no projeto.

## V. UTILIZAÇÃO NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Um dos aspectos fundamentais do ensino nas ciências exatas e naturais é a experiência prática que os alunos podem adquirir quando manuseiam diferentes dispositivos e instrumentos eletrônicos, mecânicos, etc. Isto lhes permitir aplicar e desenvolver os conhecimentos teóricos adquiridos.

A didática do professor de física e do aplicativo tem se moldado para adaptar os conteúdos a este novo recurso nas aulas sem desvalorizar a metodologia e como um incremento às aulas em que os alunos acessam através dos próprios smartphones.

Na escola a limitação é o próprio acesso à internet devido à baixa velocidade da banda larga e ausência de pontos wireless. No entanto os smartphones conseguem acesso através da internet móvel.

Cerca de 150 alunos do 2º ano do Ensino Médio de uma escola básica da região sul de Santa Catarina têm utilizado os recursos disponibilizados pelo RExLab. Neste projeto de extensão, os alunos têm à disposição o material das aulas e realizam suas atividades através do Ambiente Virtual de Aprendizagem. Neste espaço foram ainda disponibilizadas tarefas e questionários sobre os conteúdos abordados nos experimentos.

Assim, utilizando esta tecnologia pretende-se:

- Incrementar as atividades práticas nas aulas de física, de forma que os alunos possam acessar a eles em qualquer horário, não somente em aula;
- Integrar em um mesmo ambiente as aplicações docentes das práticas, experimentação e trabalho no laboratório, com as atividades propriamente docentes mediante a integração de materiais, simulações e acesso a equipamentos e dispositivos;
- Contribuir para o fortalecimento das tecnologias no ensino, pesquisa e extensão, na área de desenvolvimento do projeto.

Para esta implantação algumas metodologias estão em discussão e implementação a fim de se adequar a necessidade do professor, deste modo a aplicação deve acrescentar os recursos disponibilizados e não simplesmente substituir a didática [16], mas compreender quais conteúdos e quais experimentos poderão ser utilizados.

A aplicação deste projeto recebeu apoio do Conselho

Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) que tem o objetivo de despertar o interesse pelas engenharias através de um ensino mais aplicado e que utilize as tecnologias móveis, justamente pelo uso comum dos dispositivos móveis mesmo nas escolas.

## VI. CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentamos a integração do m-learning à experimentação remota como uma alternativa de uso das tecnologias móveis que permite estender as atividades de ensino e aprendizagem dentro e fora da sala de aulas oferecendo capacidade de mobilidade, conectividade e personalização. Fatores estes que por si mesmos promovem e potencializam a obtenção e geração de conhecimento. A utilização de dispositivos móveis no contexto educativo representa desafios tanto tecnológicos quanto pedagógicos, porém, a popularização das tecnologias móveis e o contínuo aumento de sua capacidade e sua proporcional diminuição de custo fazem com que a m-learning se constitua em uma alternativa viável com potencial para estender e enriquecer o processo de ensino e aprendizagem em qualquer lugar e a qualquer momento.

A iniciativa apresentada neste documento tem o objetivo de proporcionar novos recursos para o apoio e enriquecimento do processo de ensino e aprendizagem ao buscar aproveitar a portabilidade, a ubiquidade e a conectividade proporcionada pelos dispositivos móveis. O projeto apresentado se centrou na experiência da integração entre recursos móveis e experimentação remota nas disciplinas de física em disciplinas da educação básica na rede pública de ensino objetivando ampliar as oportunidades educativas aumentando o acesso de estudantes e professores aos conteúdos educacionais, a melhoria da qualidade das experiências de aprendizagem e a expansão do ambiente de aprendizagem além do ambiente escolar tradicional.

## REFERÊNCIAS

- [1] Naismith L., Lonsdale P., Vavoula G., Sharples M. *Literature Review in Mobile Technologies and Learning*. Editora: Futurelab. 2005.
- [2] J. B. Silva ; W. Rochadel; R. Marcelino. *Utilization of NICTs applied to mobile devices*. IEEE-RITA, v. 7, p. 149-154, 2012.
- [3] Kukulska-Hulme, A. e Traxler, J. *Mobile learning. A handbook for educators and trainers*. New York: Routledge. 2007.
- [4] Caudill, J.G. The growth of mlearning and the growth of mobile computing: Parallel developments, *International Review of Research in Open and Distance Learning*, 8, 2, 2007.
- [5] Traxler, J. (2005). *Mobile Learning: It's here but what is it?* Disponível em: <http://www2.warwick.ac.uk/services/cap/resources/interactions/archive/issue25/traxler/>. Consultado em 26/08/2007.
- [6] Parsons, D. e Ryu, H. (2006). A framework for assessing the quality of mobile learning Disponível em <http://www.masey.ac.nz/~hryu/Mblearning.pdf> . Consultado em 10/08/2009]
- [7] Quinn, C. (2000) mLearning: Mobile, Wireless, in your Pocket Learning. Disponível em <http://www.linezine.com/2.1/features/cqmmwiyp.htm>. [Consultado em 09/08/2009]
- [8] Sharples, M., Taylor, J., e Vavoula, G. (2007). A theory of learning for the mobile age. In the Sage handbook of elearning research, London, Sage. Disponível em [www.lsri.nottingham.ac.uk/.../Theory%20of%20Mobile%20Learning.pdf](http://www.lsri.nottingham.ac.uk/.../Theory%20of%20Mobile%20Learning.pdf) [Consultado em 13/03/2008]
- [9] M. Cassini, D. Prattichizo. "E-Learning by Remote Laboratories: a new tool for controlled education." *The 6th IFAC Conference on Advances in Control Education*, Finland, 2003.

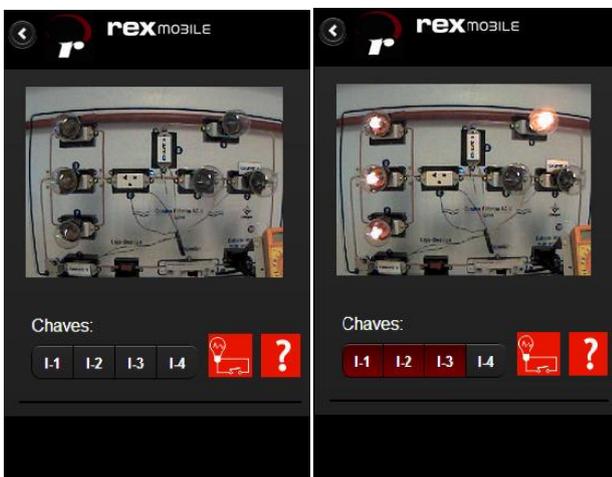


Fig. 5. Capturas de tela do aplicativo RExMobile

- [10] Z. Nedic, J. Machota, A. Nafalski. "Remote laboratories versus virtual and real laboratories". *Presented at 33rd annual frontiers in education conference*. Boulder, CO, 2003.
- [11] M.S. Silva. "jQuery Mobile – Desenvolva aplicações web para dispositivos móveis com HTML 5, CSS#, AJAX, jQuery e jQuery UI". São Paulo: Novatec, 2012.
- [12] J. E. et al. Constructing reality: a study of remote, hands-on, and simulated laboratories. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*. Vol 14, No 2, agosto 2007.
- [13] J.B. Silva, "On the use of remote experimentation to support collaborative learning environments", Doctor thesis, Eng., UFSC, Florianópolis, SC, 2007.
- [14] A. Kukulska-Hulme. (2007, Aug.). Current Uses of Wireless and Mobile Learning, Landscape Study in Wireless and Mobile Learning in the post-16 sector. [Online]. Available: [http://www.jisc.ac.uk/uploaded\\_documents/Current%20Uses%20FINAL%202005.doc](http://www.jisc.ac.uk/uploaded_documents/Current%20Uses%20FINAL%202005.doc)
- [15] Instituto Claro. *Applications created in Campus Mobile citizenship have focused*. [Online]. Available: <https://www.institutoclaro.org.br/reportagens-especiais/aplicativos-criados-no-campus-mobile-tem-a-cidadania-como-foco/>
- [16] A. C. Pereira, "Virtual learning environments" in Virtual learning environments in different contexts, 1th, Ed. Ciência Moderna, Rio de Janeiro, RJ, 2007, pp. 5.



**Juarez Bento da Silva** (IEEE Member nº 91214064). É Professor/Pesquisador da UFSC e coordenador do Remote ExperimentationLab (RExLab) e direciona suas pesquisas principalmente nos seguintes temas: experimentação remota, e-learning, mundos virtuais 3D, ambientes virtuais de ensino-aprendizagem, tecnologia educacional, embedded servers e monitoramento web. (Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1594563006260546> e-mail: [juarez.silva@ieec.org](mailto:juarez.silva@ieec.org))



**Willian Rochadel** (IEEE Member nº 92137375) é estudante de Tecnologias da Informação e Comunicação na Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente é pesquisador no Remote ExperimentationLab – REXLab da UFSC. (Lattes <http://lattes.cnpq.br/4089874234122761> e-mail: [willian\\_rochadel@ufsc.br](mailto:willian_rochadel@ufsc.br))



**José Pedro Schardosim Simão** é acadêmico de Tecnologias da Informação e Comunicação na Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente é bolsista no Remote ExperimentationLab – REXLab da UFSC. (Lattes <http://lattes.cnpq.br/4305682045202863> e-mail: [jpsimao@me.com](mailto:jpsimao@me.com))



**André Vaz da Silva Fidalgo** é Professor do Departamento de Engenharia Electrotécnica no Instituto Superior de Engenharia do Instituto Politécnico do Porto (ISEP/IPP), Portugal. Membro do grupo de investigação CIETI-LABORIS e presentemente envolvido nas áreas dos laboratórios remotos, ensino à distância, dispositivos programáveis (FPGAs), depuração e teste. email: [anf@isep.ipp.pt](mailto:anf@isep.ipp.pt)

# Adaptação de Laboratórios Remotos a Cenários de Ensino: Casos de Estudo com VISIR e RemotElectLab

André V. Fidalgo, Gustavo R. Alves, Maria A. Marques, Maria C. Viegas, Maria C. Costa-Lobo, Unai Hernandez, Javier Garcia-Zúbia, Ingvar Gustavsson

**Title— Adapting Remote Labs to Learning Scenarios: Case Studies using VISIR and RemotElectLab**

**Abstract—** Os laboratórios remotos são uma ferramenta tecnológica e pedagógica com uso crescente em todos os níveis de educação, e sua utilização generalizada é uma parte importante do seu próprio aperfeiçoamento e evolução. Este artigo descreve vários problemas encontrados em aulas laboratoriais, em cursos de ensino superior, na utilização de laboratórios remotos baseados em sistemas PXI, utilizando o sistema VISIR ou uma solução alternativa. São identificados e explicados três problemas que foram relatados por professores que deram apoio aos estudantes na utilização dos laboratórios remotos. O primeiro problema prende-se com a necessidade de permitir aos alunos selecionar a localização específica onde um amperímetro deve ser inserido nos circuitos elétricos, mesmo que incorreta, replicando as dificuldades do mundo real. O segundo é causado por falhas de sincronismo quando são necessárias várias medições em intervalos curtos, como no ciclo de descarga de um condensador. E o último problema é provocado pelo uso de um multímetro em modo DC na leitura de grandezas em CA, um procedimento que colide com as definições do equipamento. Todos os cenários são apresentados e discutidos, incluindo a solução encontrada para cada caso. A conclusão que se retira do trabalho descrito é que a área de laboratórios remotos é um campo em expansão, onde a sua utilização prática permite o aperfeiçoamento e a evolução das soluções disponíveis, exigindo uma cooperação e partilha de informação entre todos os intervenientes, i.e. investigadores, professores e alunos.

**Index Terms— Learning Goals, Real-World Scenarios, Remote Labs.**

## I. INTRODUÇÃO

UM laboratório remoto é um tipo de laboratório onde o equipamento experimental e o utilizador estão fisicamente separados e a execução da experiência exige um meio de comunicação (como a Internet) entre o utilizador e o equipamento remoto e geralmente também uma interface especificamente desenvolvida para o efeito.

Este artigo descreve os resultados práticos e a experiência obtida com a utilização de laboratórios remotos em

A. V. Fidalgo, G. R. Alves, M. A. Marques e M. C. Viegas trabalham no Instituto Superior de Engenharia (ISEP) do Politécnico do Porto (IPP) e são membros do CIETI-LABORIS, Porto, Portugal (+351.22.8340500; e-mail: {anf, gca, mmm, mcm}@isep.ipp.pt).

M. C. Costa-Lobo trabalha na Universidade Portucalense Infante D. Henrique, Porto, Portugal (e-mail: ccostalobo@upt.pt).

U. Hernandez e J. Garcia-Zúbia trabalham na Universidade de Deusto – Faculdade de Engenharia/Arquitetura de Computadores, Deusto, Espanha (e-mail: {unai.hernandez, zubia}@deusto.es).

I. Gustavsson trabalha no Blekinge Institute of Technology – School of Engineering / Electrotechnic, Karlskrona, Suécia (e-mail: ingvar.gustavsson@bth.se).

ambientes educacionais reais, expondo alguns dos problemas encontrados e as soluções que foram implementadas para os resolver. A ideia subjacente é proporcionar algumas informações operacionais sobre a aplicação prática de laboratórios remotos e também discutir alguns pormenores sobre possíveis problemas, que não se revelaram evidentes durante o desenvolvimento e implementação dos laboratórios.

Os cenários operacionais e as experiências descritas foram utilizados em aulas laboratoriais de cursos de ensino superior de engenharia no Instituto Superior de Engenharia - Politécnico do Porto, onde os laboratórios remotos são utilizados como complemento de laboratórios reais. Os problemas encontrados são de vertente pedagógica e técnica e foram identificados pelos professores responsáveis pelos cursos, quando realizaram as experiências remotas com os alunos.

A secção II descreve o ambiente pedagógico e técnico, apresentando os laboratórios remotos, o sistema VISIR e os cursos onde são utilizados. A secção III dá uma explicação mais detalhada de uma solução customizada (i.e. *RemotElectLab*), descreve a aplicação inicial e alguns problemas de instalação e de evolução do sistema subsequente. A secção IV descreve os problemas identificados pelos professores, utilizando os dois laboratórios remotos e também os esforços feitos para os resolver. E finalmente, a secção V apresenta as conclusões derivadas de todo este processo.

## II. ENQUADRAMENTO

O sistema VISIR baseia-se num laboratório remoto de arquitetura aberta, dedicado a experimentação com circuitos elétricos e eletrónicos. Permite que professores e alunos realizem experiências remotamente e em tempo real, com componentes e equipamentos de teste e medição reais (fonte de alimentação tripla DC, gerador de funções, multímetro e osciloscópio), com os quais é possível interagir via painéis frontais virtuais, disponibilizados no computador do utilizador. A placa de montagem é substituída por uma matriz de comutação, onde os componentes necessários estão fisicamente instalados. Os professores e alunos usam uma placa de montagem virtual para criar cada circuito, ou seja, para configurar os relés das conexões da matriz e os componentes instalados de forma a montar o circuito pretendido. A matriz é constituída por uma coluna de placas, que incluem também bases de componentes ou conectores para instrumentos em cada placa. Assim, o número de componentes em utilização depende do número de placas disponíveis na matriz.

O sistema VISIR foi utilizado no primeiro semestre de 2010/2011 numa disciplina de licenciatura do Instituto Superior de Engenharia - Instituto Politécnico do Porto, tendo sido anteriormente descrito [1, 2], e onde os principais resultados apresentados foram: i) referências a documentos e manuais descrevendo em detalhe a arquitetura e características técnicas [3, 4] e ii) as ações realizadas por utilizadores em três diferentes papéis (administrador, professor, estudante). O estudo descrito em [1, 2] abordou a utilização do sistema VISIR num único curso de licenciatura com grande número de alunos e onde os papéis de todos os intervenientes foram bem definidos, tendo o responsável pela disciplina sido capaz de motivar os docentes para as atividades de aprendizagem que envolviam o uso do sistema VISIR. Por exemplo, todos os elementos da equipa docente tiveram a oportunidade de experimentar e treinar com o sistema antes da sua utilização nas aulas e todos foram informados e enquadrados com os objetivos de aprendizagem planeados, sabendo que este recurso laboratorial era complementar. Este cenário contrasta com o segundo semestre de 2010/11, onde o sistema VISIR foi usado em seis disciplinas diferentes, com número de alunos muito variável (47 a 574 alunos) e pertencentes a seis cursos diferentes, ou seja com origens bem diferentes, como descrito na Tabela I. Adicionalmente, cada responsável de disciplina teve a oportunidade de definir uma série de experiências remotas e os objetivos de aprendizagem associados. A gama de experiências definidas pelos responsáveis que responderam favoravelmente ao desafio de integrar o sistema VISIR nas suas disciplinas implicou alguma negociação devido às limitações técnicas intrínsecas deste laboratório remoto. Nomeadamente, o número de placas de matriz disponíveis é limitado a 4 e a constante de tempo de todas as experiências remotas é limitada a dezenas ou centenas de milissegundos, dependendo do tipo de fonte - AC ou DC. Essas limitações implicaram a necessidade de utilizar um laboratório remoto complementar, desenvolvido internamente, para experiências na área eletrónica mais exigentes em termos de versatilidade.

### III. O REMOTELECTLAB

O *RemotElectLab* [5] é uma plataforma laboratorial de acesso remoto recente, projetada para experimentação com circuitos elétricos e eletrónicos. Foi desenvolvido depois de uma análise dos inconvenientes existentes noutras soluções de laboratórios remotos para o mesmo tipo de experiências. As opções de projeto, que surgiram da análise das referidas limitações, foram a utilização de uma plataforma construída com equipamento e componentes comerciais e a utilização de uma interface genérica que não dependesse do circuito

TABELA I  
CURSOS/DISCIPLINAS ALVO E NR DE ALUNOS/DOCENTES

Curso	Disciplina	Alunos	Docentes
Engenharia Automóvel (LEMA)	Eletricidade (ELTRI)	47	2+1
Instrumentação e Metrologia (LEIM)	Instrumentação Aplicada I (INSA1)	49	1
Engenharia da Computação e Instrumentação Médica (LECIM)	Instrumentação Aplicada I (INSA1)	68	3+1
Engenharia Química (LEQ)	Física (FISIC)	188	2+1
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (LEEC)	Teoria dos Circuitos (TCIRC)	345	6+1
Engenharia Mecânica (LEM)	Física (FISIC)	574	6+1

sob experimentação. Esta interface integra um osciloscópio, um gerador de funções, uma fonte de alimentação DC, e duas zonas especiais: uma para a visualização de uma série de oito leituras de tensão e oito leituras de corrente, e uma outra para controlar uma série de relés de comutação que permite a reconfiguração do circuito. O utilizador pode identificar as tensões de nó e as correntes de ramo que estão a ser medidas e que configurações podem ser efetuadas através da análise do diagrama de circuito, sendo possível: i) relacionar os voltímetros e amperímetros utilizados com o que é visualizado na interface, e ii) verificar quais os comutadores que estão a ser acionados e qual o efeito que eles terão no circuito, em cada posição possível. A Fig. 1 apresenta a infraestrutura e o circuito de comutação sendo visível que, por exemplo, a leitura V1 na interface corresponde à tensão de alimentação DC (medida) na entrada do circuito, I1 corresponde à corrente (medida) fornecida ao circuito pela fonte de alimentação, e que, por exemplo, ligar o interruptor identificado como "Addr. 8 2/2", irá selecionar uma resistência de carga de 270  $\Omega$ .

A interface genérica do *RemotElectLab* foi melhorada desde a sua primeira versão (1.0), pois inicialmente era necessária a instalação de um *plug-in* específico do lado do utilizador (*LabVIEW Run-Time Engine*) e a abertura de portas adicionais (além da porta 80), para permitir a interação entre cliente e servidor. A versão 2.0 substituiu este *plug-in* por um que utiliza o *Flash Player*, sendo mais genérico e comum, com a vantagem adicional de não exigir outras portas além da porta 80 padrão. Esta nova interface também reduziu o tempo de carregamento de 30 segundos para cerca de 3 segundos [6].

A primeira implementação do *RemotElectLab* foi baseada no *National Instruments Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite* (NI-ELVIS), plataforma que foi mais tarde substituída pela plataforma NI-ELVIS II em 2009. Isto implicou a adaptação dos instrumentos virtuais (VIs) para a nova plataforma - uma tarefa concluída em agosto de 2010. A nova plataforma exigiu também a readaptação da interface para o novo conjunto de VIs, que é um trabalho ainda em progresso. O objetivo é a replicação da interface inicial, apresentada em pormenor em [5], pois esta provou ser perfeitamente adequada ao ambiente experimental pretendido.

### IV. ATENDENDO AS NECESSIDADES DE DIFERENTES DOCENTES

O responsável pela disciplina de Eletricidade (ELTRI) utiliza um circuito elétrico comum, presente em motores a gasóleo para ilustrar conceitos elétricos básicos de tensão, corrente, resistência e potência. Os alunos que frequentam esta disciplina apresentam frequentemente reduzidos

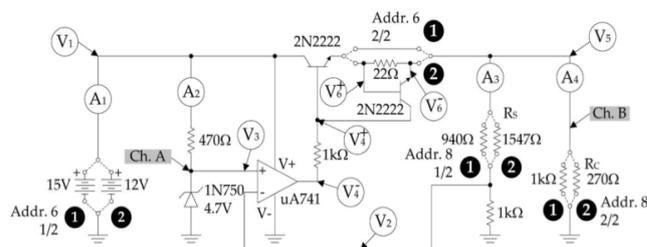


Fig. 1. Diagrama de um circuito no RemotElectLab

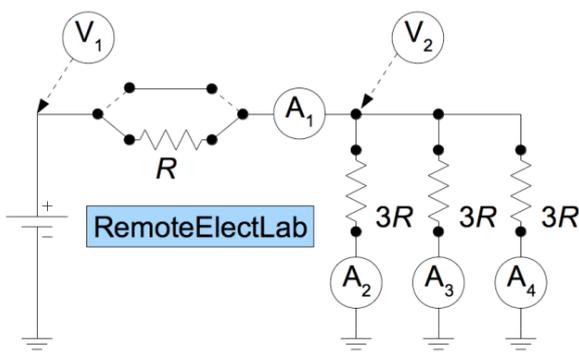


Fig. 2. Diagrama de um circuito elétrico comum, montado no *RemoteElectLab*.

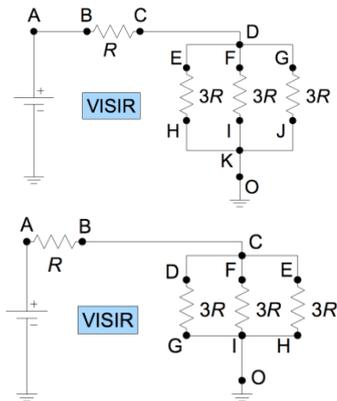


Fig. 3. Representação gráfica do mesmo circuito, ilustrando a sua implementação na matriz do VISIR (esquerda-desejável, direita-real)

conhecimento de circuitos elétricos, ou seja, têm de aprender a partir do zero e a sua motivação pode ser considerada baixa, dada a natureza do seu curso (Engenharia Automóvel) que lida predominantemente com conceitos de mecânica. A utilização do sistema VISIR com estes alunos pode ser complicada, pois algumas das limitações técnicas inerentes do sistema podem ser facilmente explicadas para pessoas com conhecimento de circuitos elétricos e equipamentos de teste e medição, mas difíceis de entender por pessoas que estão em iniciação ao tema. As duas figuras que se seguem podem ser utilizadas para explicar este aspeto.

A Fig. 2 representa o circuito referido, tal como é montado no *RemoteElectLab*. A primeira resistência, colocada imediatamente após a fonte de alimentação DC, pode ser substituída por um curto-circuito, utilizando os relés controláveis. O utilizador pode também ler as correntes de ramo e as tensões de nó, podendo determinar desta forma a potência dissipada (queda de tensão x corrente) em cada um das quatro resistências. Usando os valores medidos, o utilizador pode obter as relações intrínsecas entre quedas de tensão e correntes de ramo, usando a Regra de Tensão de *Kirchhoff* (LKT) e a Regra da Corrente de *Kirchhoff* (KCL). Este circuito muito simples, quando montado no sistema VISIR - apesar de permitir ler as mesmas variáveis (todas as tensão de nó e todas as correntes de ramo) - pode requerer até 12 nós (o que excede o número máximo de nós utilizáveis na matriz VISIR bordo, que é 10) e mais do que uma placa de matriz, como representado na fig. 3 (lado esquerdo). Note-se que um amperímetro deve ser inserido em série com um componente (antes ou depois dele) a fim

de medir a corrente elétrica que o atravessa. No sistema VISIR, isto requer a colocação de um curto-circuito entre os nós em que o amperímetro pode ser inserido, de modo a permitir as duas possibilidades, ou seja, o amperímetro estar presente ou não.

As possibilidades de medição de tensão nos nós não estão representadas porque o sistema VISIR permite conectar o voltímetro - ou qualquer canal do osciloscópio - a qualquer nó, pois corresponde a um dispositivo de alta impedância. Assim, a análise da fig. 3 (lado esquerdo), permite concluir que são necessários 14 componentes de dois pinos, ou seja, 4 resistências e 10 curto-circuitos (AB, BC, CD, DE, DF, DG, HK, IK, JK, e KO) para a implementação deste circuito no sistema VISIR. Devido a limitação já mencionada (10 nós) decidimos adicionar ao circuito um par de restrições adicionais (ver Fig. 3 - Lado direito), ou seja, o amperímetro não pode ser colocado "antes" da primeira resistência ( $R$ ) nem "depois" da resistência ( $3R$ ) colocada no centro da rede paralela. Isso significa que, dos nove locais possíveis em que o utilizador receberá uma mensagem de erro "inesperado", quando colocar o amperímetro, dois deles não apresentam uma razão plausível para isso, pois em termos elétricos a colocação estará correta. Este é um compromisso entre proporcionar aos alunos a possibilidade de experimentar esse circuito, dentro da disciplina de ELTRI, e não os confundir com detalhes sobre as restrições técnicas do sistema VISIR. Um ponto importante a abordar aqui é que, depois de discutir este circuito específico com o Prof Ingvar Gustavsson, o mentor do sistema VISIR, foi desenvolvida uma solução engenhosa, que não foi identificada numa primeira análise [7]. Esta solução está ilustrada na fig. 4 e, em certo sentido, denota um aspeto importante de todo o sistema VISIR - a existência de uma comunidade ativa que ajuda a enfrentar os problemas e desafios como o que está a ser discutido aqui. Uma breve comparação entre as duas soluções indica, contudo, que a segunda (Fig. 4) implica um total de oito resistências e 11 curto-circuitos, isto é, 19 componentes de dois pinos, o que não requer mais do que duas placas da matriz.

Numa base conceptual pura, pode-se estender a análise deste circuito, de forma a incluir a possibilidade de ler a corrente que atravessa quaisquer duas resistências em paralelo (ver fig. 5). Isso aumenta o número de locais possíveis de colocação do amperímetro para 15 (antes / depois de cada combinação de duas das três resistências em paralelo - esquerda / centro, centro / direita, e esquerda / direita - o que dá  $2 \times 3 = 6$  novos locais). Estendendo o diagrama do circuito representado na fig. 4, adicionando três curtos-circuitos (DE, DF e DE), permitiria também acomodar este novo objetivo de aprendizagem, como representado na fig. 5.

Mesmo não fazendo parte dos objetivos da experimentação remota, a sua utilização em aulas laboratoriais permitiu demonstrar que é comum para um estudante inexperiente, ao utilizar uma placa de montagem pela primeira vez, efetuar as ligações de forma que esteja a medir de forma incorreta, sendo difícil para o professor detetar o problema à primeira vista.

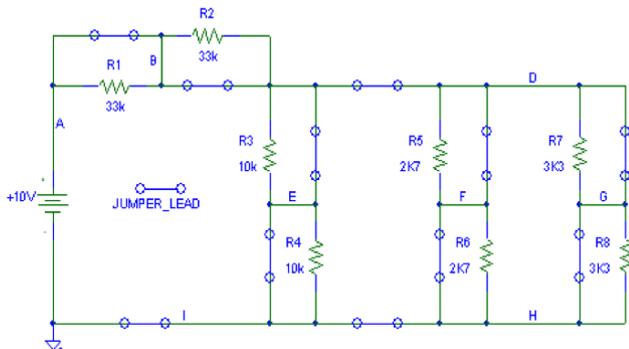


Fig. 4. Uma solução para o problema de medição de todas as correntes individuais, implementada no sistema VISIR.

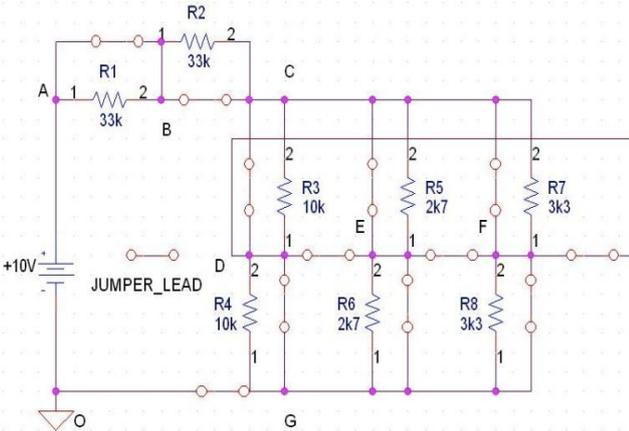
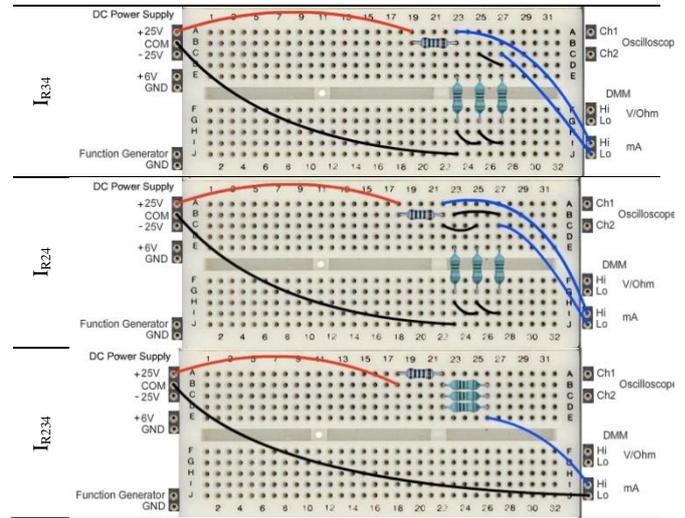


Fig. 5. Implementação que permite medir todas as correntes dos paralelos de 2 e 3 resistências no sistema VISIR.

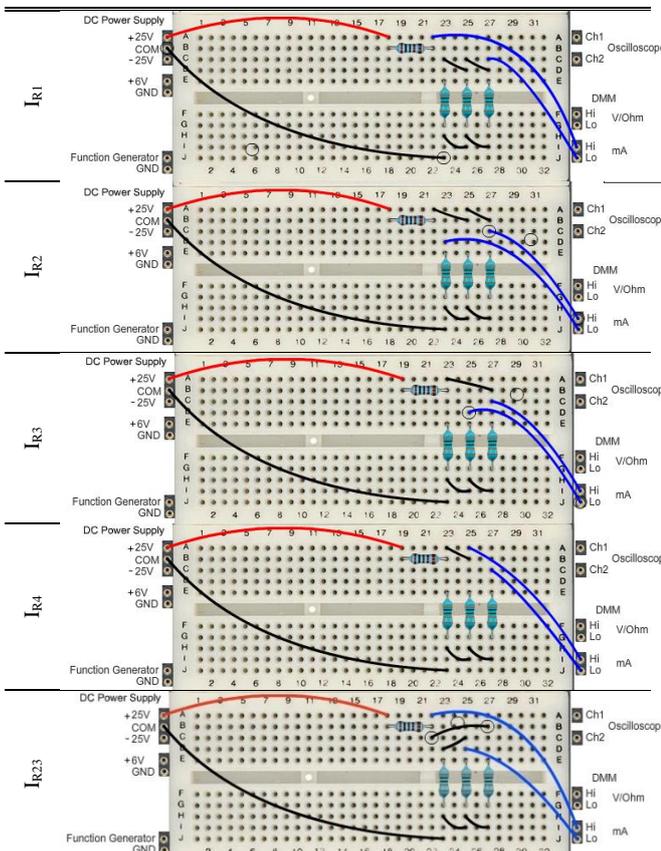


Este tipo de medidas "erradas" deve ser possível em laboratórios remotos para que os alunos possam ver as consequências de medições incorretas e aprender com seus erros. Se a implementação de um laboratório remoto não permite erros que são comuns em laboratórios reais, ou sinaliza-os como erros do sistema, acaba por fornecer uma assistência inadequada aos alunos e não cumpre o objetivo de reproduzir as condições de laboratório reais. Este aspecto é claramente demonstrado através da Tabela II, que apresenta todas as possíveis medições possíveis em termos de circuito individuais, paralelos de 2 resistências, e paralelos de 3 resistências. Na última linha da Tabela II optamos por colocar as resistências na posição horizontal apenas para ilustrar e enfatizar o tipo de configurações que os alunos podem implementar, e os professores precisam de depurar, quando algo não está a funcionar como esperado. Uma única representação esquemática pode ser implementada de muitas formas diferentes, numa placa de montagem, o que torna difícil para os alunos a visualizar e compreender a relação entre uma montagem na *breadboard* e um diagrama de circuito, e aos professores diagnosticar desfasamentos, numa sessão de laboratório típico - mesmo com um pequeno número de componentes, como é o caso no presente cenário.

Esta análise levanta a questão de se adicionar um sistema tutor inteligente no sistema VISIR, que forneceria suporte automático (i.e. *online*) para este tipo de problemas. No lado técnico seria também possível resolver o problema por meio de um tipo diferente de matriz de relés, tal como o descrito em [7], o que permitiria um aumento do número de ligações em comparação com o que é atualmente permitida pelo sistema PXI, em que se baseia a atual implementação do sistema VISIR.

Numa situação diferente, o professor responsável pela disciplina de Teoria dos Circuitos (TCIRC) pretende que os alunos compreendam o comportamento dinâmico de condensadores e bobinas quando alimentados por uma fonte DC. O problema reside no facto da constante de tempo do circuito poder exceder o tempo de duração de uma experiência típica no sistema VISIR. Por exemplo, um circuito que incluía uma resistência de 10 kΩ em série com um condensador de 220 mF irá ter uma constante de 2,2 segundos, o que está muito para além dos 50-100 milissegundos que demora a completar uma experiência em

TABELA II  
MEDIÇÃO DE TODOS OS PARALELOS DE 2 E 3 RESISTÊNCIAS



modo DC no sistema VISIR, utilizando o osciloscópio [8]. Além disso, esta experiência é também realizada no laboratório real, onde os estudantes têm de medir a queda de tensão através do condensador, a cada segundo ( $\Delta t$ ), anotar e produzir um gráfico com esses valores, numa folha de cálculo do Excel, a fim de visualizar a curva exponencial de carga do condensador, tal como definido pela sua equação (1). A versão remota da experiência foi desenvolvida numa versão do *RemotElectLab* diferente, desenvolvida como parte do projeto *PhysicsLabFARM* e customizada para esse problema específico. A interface foi adaptada para esta tarefa específica e a experiência foi disponibilizada aos alunos através de uma página do *Moodle*, no final do semestre, ou seja, na última semana de aulas. Até o final do semestre, este recurso foi acedido mais de 40 vezes, principalmente só por curiosidade dos alunos.

$$V_C = V_{DC} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (1)$$

A sequência de ações para executar esta experiência é ilustrada nas figuras a seguir. A Fig. 6 apresenta a página de entrada, que fornece uma descrição geral da experiências de carga de condensadores e bobinas. A Fig. 7 apresenta o circuito em fase experimental, onde os utilizadores podem seleccionar - entre um número limitado de opções disponíveis - o valor DC de entrada e o valor das resistências e condensadores a utilizar. Uma vez que a configuração estiver concluída, o utilizador pode "enviar" a experiência para execução. A título de exemplo, a Fig. 8 ilustra o processo de seleção do valor dos condensadores e a Fig. 9 apresenta a mensagem exibida, indicando o tempo remanescente até a experiência estar concluída.

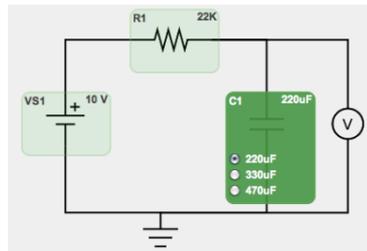


Fig. 8. A escolha de um dos três condensadores presentes na matriz.

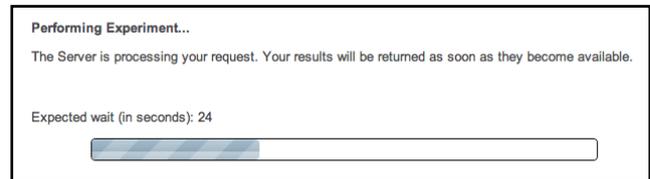


Fig. 9. Mensagem que indica que a experiência está em execução.

**Results**

$\Delta t = 1200 \text{ ms}$

t	0	$\Delta t$	2 $\Delta t$	3 $\Delta t$	4 $\Delta t$	5 $\Delta t$	6 $\Delta t$	7 $\Delta t$	8 $\Delta t$	9 $\Delta t$	10 $\Delta t$	11 $\Delta t$	12 $\Delta t$	13 $\Delta t$	14 $\Delta t$	15 $\Delta t$	16 $\Delta t$	17 $\Delta t$	18 $\Delta t$	19 $\Delta t$	20 $\Delta t$
V	-0.000	3.001	4.604	5.825	6.700	7.477	8.029	8.456	8.786	9.042	9.241	9.396	9.517	9.611	9.685	9.743	9.789	9.825	9.853	9.876	9.893

Fig. 10. Resultados experimentais obtidos.

O tempo total dependerá do da constante RC - de acordo com as opções dos utilizadores. Finalmente, a Fig. 10 apresenta a janela onde são visualizados os resultados da experiência remota, ou seja, a queda de tensão medida aos terminais do condensador a cada  $\Delta t$  - tal como definido para esta experiência - para que a  $20 \cdot \Delta t$  a tensão aos terminais do condensador seja aproximadamente 99% do valor da tensão de alimentação DC, de acordo com (1).

Foi registrada uma terceira situação na disciplina de TCIRC, decorrente da utilização do sistema VISIR, e é um assunto interessante para ser abordado tanto pelos projetistas do sistema como pelos seus utilizadores. A arquitetura que suporta o sistema VISIR assume que todas as experiências devem ser executada tão rápido quanto possível, de modo a que os recursos necessários sejam rapidamente libertados, de forma a apresentar uma elevada disponibilidade. Para conseguir isto cada experiência é ativada pelo menor tempo possível e assume-se que as leituras de grandezas elétricas são quase instantâneas. Nesta disciplina o número de alunos é substancial, pelo que se dimensionaram os tempos de execução para o seu valor mais baixo de forma a minimizar problemas de acesso às experiências. Estas seriam aparentemente simples, exigindo apenas a medição dos valores de tensão AC e DC. Um requisito específico era a medição da componente contínua da tensão de um sinal sinusoidal AC, ou seja, a sua polarização DC. Foi relatado pelo professor que as leituras pelo multímetro dos valores de tensão DC de ondas sinusoidais (a partir de um gerador de sinal) estavam erradas na maioria das leituras, e os resultados variavam consideravelmente entre experiências idênticas. Verificou-se que a forma de onda estava correta (pelo osciloscópio remoto), que a tensão AC era lida corretamente e que as leituras pelo multímetro da componente DC eram sempre entre as tensões limite da onda sinusoidal (o resultado correto deveria ser aproximadamente zero). A Tabela III exemplifica as leituras obtidas com uma onda sinusoidal com 1 Vpp.

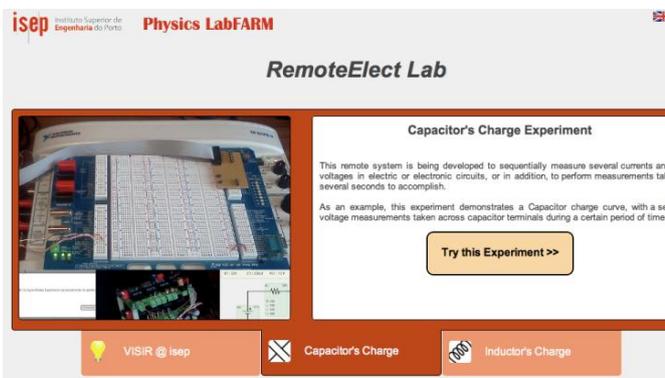


Fig. 6. Página de entrada para a experiência de carga de condensadores no projeto *PhysicsLabFARM*

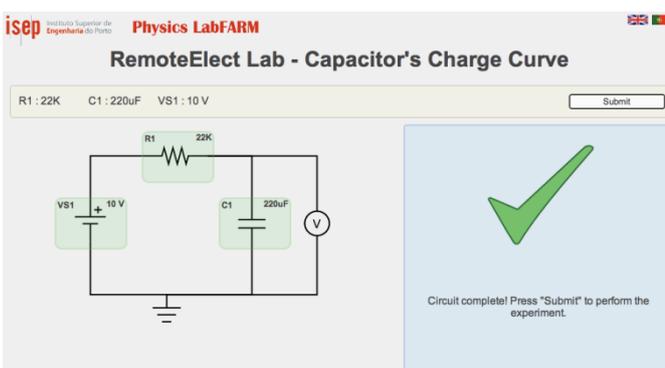


Fig. 7. O circuito experimental, com os elementos configuráveis realçados a verde.

TABELA III  
EXEMPLOS DE RESULTADOS DA MEDIÇÃO DE TENSÕES.

Medição da componente AC da tensão (RMS)	
1a medição da componente DC da tensão	
2a medição da componente DC da tensão	

Um estudo mais aprofundado da questão, utilizando uma onda quadrada, mostrou que os valores DC passavam a ser medidos como o valor máximo ou mínimo da onda. Decidiu-se testar o mesmo circuito num laboratório real, utilizando equipamento semelhante ao do sistema remoto, e ainda que os resultados tenham sido diferentes, ou seja, o multímetro lia o valor corretamente, foi possível constatar que demorava alguns segundos para que a leitura estabilizasse no valor correto. Devido ao funcionamento interno do multímetro há um atraso relevante até que o valor médio real é visualizado, durante o qual o multímetro exibe o que parecem ser os valores da tensão instantânea. Este facto advém da necessidade de ser analisado pelo menos um período completo da onda em observação, mais o tempo de processamento, antes que seja possível uma leitura precisa dos valores médios (ou RMS).

O sistema VISIR exige tempos diferentes (definidos pelos requisitos de sistema PXI) para medir os valores em AC ou DC. Estes intervalos de tempo são consideravelmente maiores para AC (50 ms para AC vs 10ms para DC), a fim de lidar com o maior tempo de medição. No entanto, ao tentar medir valores de DC em AC este intervalo é insuficiente e os valores visualizados são representativos do ciclo de ajuste inicial, visível no multímetro real. Embora aparentemente trivial, esta questão demonstra que algumas configurações do laboratório remoto podem interferir nos resultados experimentais, principalmente quando o tempo é uma questão relevante. A necessidade de uma elevada disponibilidade, que exige a execução muito rápida das experiências, deve ser analisada de forma a evitar a introdução de erros de leitura, dependendo da experiência em si. Neste caso, existem algumas soluções que podem ser aplicadas imediatamente a diferentes níveis, por exemplo é possível aumentar o tempo de experiência e aceitar uma menor disponibilidade ou modificar a experiência (aumentando as frequências, por exemplo) para obter um tempo de resposta mais baixo. Num nível mais elevado, é possível utilizar multímetros mais rápidos e / ou otimizar o próprio sistema VISIR.

## V. CONCLUSÕES

Os laboratórios remotos são atualmente considerados uma abordagem complementar aos laboratórios presenciais, com diferentes níveis e objetivos de aprendizagem. No entanto, e

considerando que são desenvolvidos de forma a replicar o desempenho das experiências e equipamentos reais, é de extrema importância definir um conjunto alargado de cenários experimentais. Mesmo assim, como demonstrado com o sistema VISIR, um laboratório com considerável implantação internacional, este objetivo não é fácil de atingir, uma vez que podem surgir problemas novos a qualquer momento. Alguns deles podem ser resolvidos dentro das capacidades de adaptação do sistema, mas outros podem exigir mudanças ao nível da sua própria arquitetura.

A existência de uma comunidade VISIR extensa e ativa é uma vantagem importante e fornece o impulso para a evolução e aperfeiçoamento do sistema. Os utilizadores, sejam eles professores ou alunos, muitas vezes têm exigências diferentes ou identificam problemas que não foram previstos pelos projetistas. Esta informação de retorno é muitas vezes utilizada para adicionar novos recursos, melhorar a interface ou o funcionamento do sistema ou então para melhorar a documentação e esclarecer metodologias.

Alternativamente, algumas experiências requerem soluções específicas e customizadas que, por enquanto, estão fora do propósito do sistema VISIR. A abordagem multinível descrita foi desenvolvida para que os objetivos propostos para os laboratórios remotos fossem atingidos. Na maioria dos casos, o laboratório remoto é capaz de replicar a experiência presencial de forma eficaz e com relativa facilidade. Em alguns casos, principalmente os referidos neste documento, foi necessário um trabalho de adaptação e ajuste das experiências e, ocasionalmente, a experiência ou o laboratório remoto tiveram mesmo de ser alterados.

Como muitas vezes é dito na área militar "... nenhum plano de batalha sobrevive ao contato com o inimigo ...", e isto também é verdade para a experimentação laboratorial em geral e para os laboratório remotos, em particular. As experiências descritas mostram que assim que os utilizadores começam a realizar experiências, alguns *bugs* e problemas irão sempre ocorrer. Cabe à infraestrutura de suporte lidar com eles, garantindo que os utilizadores finais obtêm o que esperam, ou seja, um laboratório operacional e útil.

## REFERÊNCIAS

- [1] G. R. Alves et al., "Using VISIR in a large undergraduate course: Preliminary assessment results" Proceedings of the 2<sup>nd</sup> IEEE Engineering Education Conference (EDUCON'11), pp. 1125-1132, Amman, Jordania, 4-6 April 2011.
- [2] M. C. Costa Lobo et al., "Using VISIR in a large undergraduate course: Initial findings," Proceedings of the 2011 Frontiers in Education Conferences (FIE'11), 41<sup>st</sup> Edition, Rapid City, South Dakota, US, 12-15 October 2011, in press.
- [3] I. Gustavsson et al., "A Flexible Electronics Laboratory with Local and Remote Workbenches in a Grid," International Journal of Online Engineering (iJOE), vol. 4, n.o 2, pp. 12-16, 2008.
- [4] I. Gustavsson et al., "On Objectives of Instructional Laboratories, Individual Assessment, and Use of Collaborative Remote Laboratories," IEEE Transactions on Learning Technologies, vol. 2, pp. 263-274, Oct.- Dec. 2009. doi:10.1109/TLT.2009.42
- [5] Nuno Sousa, Gustavo R. Alves, and Manuel G. Gericota, "An Integrated Reusable Remote Laboratory to Complement Electronics Teaching," IEEE Transactions on Learning Technologies, July-Sept. 2010, Vol. 3, nr. 3, pp. 265-271, ISSN: 1939-1382, DOI: 10.1109/TLT.2009.51.
- [6] Pedro J. Teixeira, "Building Flex Interfaces for Remote Experimentation Systems", Master Thesis, School of Engineering –

Polytechnic of Porto, Portugal, September 2010, p. 109. [Construção de Interfaces em Flex para Sistema de Experimentação Remota, Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto].

- [7] I. Gustavsson, "On Remote Electronics Experiments", Using Remote Labs in Education, University of Desuto, Bilbao, 2011, pp. 157-176



**André V. Fidalgo** licenciou-se em 1996 e recebeu o mestrado e doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, em 1999, e 2008, respetivamente, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. Membro do Departamento de Engenharia Eletrotécnica (DEE) do Instituto Superior de Engenharia (ISEP) do Politécnico do Porto desde 1999, onde é Professor Adjunto e também é membro

do grupo de investigação CIETI-LABORIS. É autor ou coautor de mais de 20 artigos em conferências nacionais e internacionais e revistas com júri. Seus atuais interesses de investigações centram-se nos laboratórios remotos, projeto e teste de hardware digital, análise de confiabilidade, sistemas de microprocessadores e hardware reconfigurável (FPGAs).



**Gustavo R. Alves** é Licenciado, Mestre, e Doutor em Eng. Eletrotécnica e de Computadores, pela Universidade do Porto, Portugal, em 1991, 1995, e 1999, respetivamente.

É Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Eletrotécnica (DEE) do Instituto Superior de Engenharia (ISEP) do Politécnico do Porto, desde Janeiro de 1994. É responsável pelo Núcleo de Investigação em Sistemas de Teste (LABORIS), do Centro de Inovação em Engenharia e Tecnologia Industrial (CIETI). Publicou mais de 115 artigos em revistas e conferências internacionais, com comité de revisão. Recentemente, coeditou (2011) um livro na área dos laboratórios remotos. As suas áreas de interesse incluem o ensino em engenharia, a experimentação remota, as metodologias e infraestruturas de teste e depuração de sistemas eletrónicos, e as tecnologias de apoio ao ensino laboratorial. O Dr. Alves é membro do Global Online Laboratory Consortium (GOLC), da Sociedade Internacional para a Educação em Engenharia (IGIP), da Sociedade Portuguesa para a Educação em Engenharia (SPEE), e da Ordem dos Engenheiros (OE), em Portugal.



**Maria A. Marques** licenciou-se em Física pela Universidade do Porto, e terminou o seu mestrado em *Physics of Laser Communications* pela Universidade de Essex, em 1988 e 1992, respetivamente. Obteve o seu Doutoramento em Ciências da Engenharia pela Universidade do Porto em 2008, através do desenvolvimento de um sensor (patente Portuguesa) para medir forças no pé, com grande relevância na medição das componentes de corte. Leciona no Instituto Superior de Engenharia (ISEP) do Politécnico do Porto desde 1995, nas disciplinas de física, eletrónica e biomecânica. Está envolvida em vários projetos de I & D e tem sido um membro da Direção do Departamento de Física, sendo responsável pelas instalações laboratoriais desde 2008. Ela é autora e coautora de mais de 40 artigos de conferência e revista, uma patente nacional e um capítulo de livro. Seus interesses de investigação centram-se na modelização, análise e instrumentação biomecânica, e em recursos educacionais de experimentação remota.



**Maria C. Viegas** licenciou-se em Física/Matemática Aplicada pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto em 1991. Completou em 1998 o Mestrado em Engenharia Mecânica pela Faculdade de Engenharia da mesma Universidade e o Doutoramento em Ciência e Tecnologia pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro em 2010. Desde 1994 é docente no Departamento de Física do Instituto Superior de Engenharia do Porto, ocupando atualmente o cargo de Professor Adjunto. É membro do laboratório de investigação CIETI-LABORIS, sediado no ISEP,

- [8] J. García-Zubia, U. Hernández-Jayo, I. Angulo, D. López-de-Ipiña, P. Orduña, J. Irurzun, O. Dziabenko, "LXI Technologies for Remote Labs: An Extension of the VISIR Project," iJOE – Volume 6, Special Issue 1: REV2010, September 2010, pp. 25-35.

colaborando também num grupo de investigação sediado na UTAD. É coautora de um livro, vários capítulos de livro e vários artigos científicos publicados internacionalmente. As principais áreas de interesse são a física, didática da física, ensino à distância, aprendizagem informal.



**Cristina C. Lobo** licenciou-se em 2001 e recebeu o Mestrado e Doutoramento em Psicologia, em 2006 e 2011, respetivamente, ambos pela Universidade do Minho, Portugal. Entrou para o Departamento de Ciências da Educação e Património da Universidade Portucalense em 2011, onde passou a deter o cargo de Professor Adjunto. Também é membro do grupo de investigação CIETI-LABORIS. Ela é autora ou coautora de 15 artigos em conferências nacionais e internacionais e revistas, com júri. Seus interesses atuais de investigação centram-se no ajustamento do emprego, empregabilidade dos diplomados do ensino superior, avaliações de aprendizagem com estudantes do ensino superior, e eficácia do desempenho dos professores.



**Unai Henandez-Jayo** recebeu o grau de Mestre em Engenharia de Telecomunicações pela Universidade de Deusto, Espanha, em 2001, e o Doutoramento pela mesma instituição em 2012. Ele é Professor no Departamento de Telecomunicações da Universidade de Deusto e membro do grupo de investigação WebLab-Deusto. Os seus interesses de investigação incluem instrumentos de controlo, protocolos de comunicações e eletrónica analógica em laboratórios remotos.



**Javier Garcia-Zubia** licenciou-se em 1987 e recebeu o Doutoramento em 1996, pela Faculdade de Engenharia da Universidade de Deusto, Espanha. Leciona no Departamento de Tecnologias Industriais, onde é Professor Titular. É também investigador do Instituto de Tecnologia de Deusto (DeustoTech) no Grupo de Aprendizagem. A sua investigação atual está centrada em laboratórios remotos e dispositivos lógicos programáveis. É o responsável do projeto WebLab-Deusto ([www.weblab.deusto.es](http://www.weblab.deusto.es)), está envolvido em diversos projetos europeus e o seu trabalho de investigação foi publicada por diversas revistas e conferências. É coeditor dos livros "Using remote labs in education" e "Advances on remote labs and e-learning experieces" com Gustavo Alves e Luis Gomes em 2007 e 2011, respetivamente.



**Ingvar Gustavsson** recebeu os graus MSEE e DR SC pelo Instituto Real de Tecnologia (KTH) em Estocolmo, em 1967 e 1974, respetivamente. Depois de completar o serviço militar em 1968, ele trabalhou como engenheiro de desenvolvimento na Jungner Instrumento AB, em Estocolmo. Em 1970, juntou-se ao projeto de visão por computador SYDAT do Laboratório de Instrumentação do KTH. Em 1982 foi nomeado Chefe do Laboratório de Instrumentação. Juntamente com outro cientista, fundou em 1983 uma empresa privada que fornece sistemas de inspeção automáticas para clientes industriais. Em 1994, retornou ao mundo académico para assumir sua posição atual como professor associado de eletrónica e tecnologia de medidas no Blekinge Institute of Technology (BTH), Suécia. Ele reformou-se parcialmente em 2012. Seus interesses de investigação centram-se nas áreas da instrumentação, laboratórios remotos, eletrónica industrial e ensino à distância. É membro do IEEE.



## Revisores

- Addison Salazar Afanador,  
Universidad Politécnica de Valencia, España
- Alberto Jorge Lebre Cardoso,  
Universidad de Coimbra, Portugal
- Alfredo Ortiz Fernández,  
Universidad de Cantabria, España
- Alfredo Rosado Muñoz,  
Universidad de Valencia, España
- Amaia Méndez Zorrilla,  
Universidad de Deusto, España
- Ana Arruarte Lasa,  
Universidad del País Vasco, España
- André Luís Alice Raabe,  
Universidade do Vale do Itajaí, Brasil
- Angel García Beltrán,  
Universidad Politécnica de Madrid, España
- Angel Mora Bonilla,  
Universidad de Málaga, España
- Angélica de Antonio Jiménez,  
Universidad Politécnica de Madrid, España
- Antonio Barrientos Cruz,  
Universidad Politécnica de Madrid, España
- Antonio Navarro Martín,  
Universidad Complutense de Madrid, España
- Antonio Sarasa Cabezuelo,  
Universidad Complutense de Madrid, España
- Basil M. Al-Hadithi,  
Universidad Alfonso X El Sabio, España
- Basilio Pueo Ortega,  
Universidad de Alicante, España
- Begoña García Zapirain,  
Universidad de Deusto, España
- Carmen Fernández Chamizo,  
Universidad Complutense de Madrid, España
- Cecilio Angulo Bahón,  
Universidad Politécnica de Catalunya, España
- César Alberto Collazos Ordóñez,  
Universidad del Cauca, Colombia
- Crescencio Bravo Santos,  
Universidad de Castilla-La Mancha, España
- Daniel Montesinos i Miracle,  
Universidad Politécnica de Catalunya, España
- Daniel Mozos Muñoz,  
Universidad Complutense de Madrid, España
- David Benito Pertusa,  
Universidad Pública de Navarra, España
- Elio San Cristobal Ruiz,  
UNED, España
- Faraón Llorens Largo,  
Universidad de Alicante, España
- Francisco Javier Faulin Fajardo,  
Universidad Pública de Navarra, España
- Gabriel Díaz Orueta, UNED, España
- Gerardo Aranguren Aramendía,  
Universidad del País Vasco, España
- Gloria Zaballa Pérez,  
Universidad de Deusto, España
- Gracia Ester Martín Garzón,  
Universidad de Almería, España
- Ismar Frango Silveira,  
Universidad de Cruzeiro do Sul, Brasil
- Javier Areitio Bertolín,  
Universidad de Deusto, España
- Javier González Castaño,  
Universidad de Vigo, España
- Joaquín Roca Dorda,  
Universidad Politécnica de Cartagena, España
- Jorge Alberto Fonseca e Trindade,  
Escola Superior de Tecnologia e Gestão,  
Portugal
- Jorge Munilla Fajardo,  
Universidad de Málaga, España
- José Alexandre Carvalho Gonçalves,  
Instituto Politécnico de Bragança, Portugal
- Jose Ángel Irastorza Teja,  
Universidad de Cantabria, España
- José Angel Martí Arias,  
Universidad de la Habana, Cuba
- José Ignacio García Quintanilla,  
Universidad del País Vasco, España
- José Javier López Monfort,  
Universidad Politécnica de Valencia, España
- José Luis Guzmán Sánchez,  
Universidad de Almería, España
- José Luis Sánchez Romero,  
Universidad de Alicante, España
- José Ramón Fernández Bernárdez,  
Universidad de Vigo, España
- Juan Carlos Soto Merino,  
Universidad del País Vasco, España
- Juan I. Asensio Pérez, Universidad de  
Valladolid, España
- Juan Meléndez,  
Universidad Pública de Navarra, España
- Juan Suardfáz Muro,  
Universidad Politécnica de Cartagena, España
- Juan Vicente Capella Hernández,  
Universidad Politécnica de Valencia, España
- Lluís Vicent Safont,  
Universidad Ramón Llull, España
- Luis Benigno Corrales Barrios,  
Universidad de Camagüey, Cuba
- Luis de la Fuente Valentín,  
Universidad Carlos III, España
- Luis Fernando Mantilla Peñalba,  
Universidad de Cantabria, España
- Luis Gomes,  
Universidade Nova de Lisboa, Portugal
- Luis Gómez Déniz,  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria,  
España
- Luis Zorzano Martínez,  
Universidad de La Rioja, España
- Luisa Aleyda García González,  
Universidade de São Paulo, Brasil
- Manuel Benito Gómez,  
Universidad del País Vasco, España
- Manuel Domínguez Dorado,  
Universidad de Extremadura, España
- Manuel Gromaz Campos,  
Centro de Supercomputación de Galicia,  
España
- Manuel Pérez Cota,  
Universidad de Vigo, España
- Margarita Cabrera Bean,  
Universidad Politécnica de Catalunya, España
- Maria Antonia Martínez Carreras,  
Universidad de Murcia, España
- Mario Muñoz Organero,  
Universidad de Carlos III, España
- Marta Costa Rosatelli,  
Universidad Católica de Santos, Brasil
- Mercedes Caridad Sebastián,  
Universidad Carlos III, España
- Miguel Angel Gómez Laso,  
Universidad Pública de Navarra, España
- Miguel Ángel Redondo Duque,  
Universidad de Castilla-La Mancha, España
- Miguel Angel Salido,  
Universidad Politécnica de Valencia, España
- Miguel Romaz Campos,  
Universidad de Alicante, España
- Nouridine Aliane,  
Universidad Europea de Madrid, España
- Oriol Gomis Bellmunt,  
Universidad Politécnica de Catalunya, España
- Rafael Pastor Vargas, UNED, España
- Raúl Antonio Aguilar Vera,  
Universidad Autónoma de Yucatán, México
- Robert Piqué López,  
Universidad Politécnica de Catalunya, España
- Rocael Hernández,  
Universidad Galileo, Guatemala
- Sergio Martín Gutiérrez,  
UNED, España
- Silvia Sanz Santamaría,  
Universidad de Málaga, España
- Timothy Read,  
UNED, España
- Víctor González Barbone,  
Universidad de la República, Uruguay
- Víctor Manuel Moreno Sáiz,  
Universidad de Cantabria, España
- Victoria Abreu Sernández,  
Universidad de Vigo, España
- Yod Samuel Martín García,  
Universidad Politécnica de Madrid, España
- Equipo Técnico:** Diego Estévez González,  
Universidad de Vigo, España

**VAEP-RITA** es una publicación lanzada por el Capítulo Español de la Sociedad de Educación del IEEE (CESEI). Nuestro agradecimiento a los apoyos recibidos desde el año 2006 por el Ministerio Español de Educación y Ciencia a través de la acción complementaria TSI2005-24068-E, el Ministerio Español de Ciencia e Innovación a través de la acciones complementarias TSI2007-30679-E, y TIN2009-07333-E/TSI. Gracias también a la Universidade de Vigo por el apoyo en esta nueva etapa.

---

*(Viene de la Portada)*

Realización a Distancia de Experimentos Reales desde un Sistema de Gestión de Aprendizajes... .....	<i>F. Lerro, S. Marchisio, S. Martini, H. Massacesi, E. Perretta, A. Gimenez, N. Aimetti, J. Oshiro</i>	<b>124</b>
Uso de Dispositivos Móveis para Acceso a Experimentos Remotos na Educação Básica .....	<i>Juarez B. da Silva, Member, IEEE, Willian Rochadel, Member, IEEE, José P. S. Simãoe André Vaz da Silva Fidalgo</i>	<b>129</b>
Adaptação de Laboratórios Remotos a Cenários de Ensino: Casos de Estudo com VISIR e RemotElectLab..... .....	<i>André V. Fidalgo, Gustavo R. Alves, Maria A. Marques, Maria C. Viegas, Maria C. Costa-Lobo, Unai Hernandez, Javier Garcia-Zúbia, Ingvar Gustavsson</i>	<b>135</b>

---

**VAEP-RITA** es una publicación de la Sociedad de Educación del IEEE, gestionada por su Capítulo Español y apoyada por la Universidade de Vigo, España.

**VAEP-RITA** é uma publicação da Sociedade de Educação do IEEE, gerida pelo Capítulo Espanhol e apoiada pela Universidade de Vigo, España.

**VAEP-RITA** is a publication of the IEEE Education Society, managed by its Spanish Chapter, and supported by the Universidade de Vigo, España.