

TICAI 2013-2014

TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería

Editores

Inmaculada Plaza García
Martín Llamas Nistal

TICAI 2013-2014

TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería

Editado por:

Inmaculada Plaza García y Martín Llamas Nistal
(Capítulo Español de la Sociedad de Educación del
IEEE)

ISBN: 978-84-8158-690-9

Índice

Introducción de los editores -----	i
Capítulo 1 - -----	1
Enseñanza universitaria en redes sociales y aprendizaje autorregulado. Estudio de caso.	
Adriana GewercBarujel y Ana Rodríguez-Groba	
Capítulo 2 - -----	13
DrMIPS - Ferramenta de ApoioaoEnsino e Aprendizagem de Arquitectura de Computadores	
Bruno Nova, António Araújo e João C. Ferreira	
Capítulo 3 - -----	25
O ensino da álgebra linear em Portugal: padrões no uso da tecnologiaem cursos de engenharia.	
Ricardo Gonçalves e Cecília Costa	
Capítulo 4 - -----	35
Declaración AENUI-CODDII por la inclusión de asignaturas específicas de ciencia y tecnología informática en los estudios básicos de la enseñanza secundaria y bachillerato.	
Xavi Canaleta, Fermín Sánchez, Inés Jacob, Ángel Velázquez y Mercedes Marqués	
Capítulo 5 - -----	47
Evaluando la inclusión de elementos que afectan a la percepción en materiales multimedia dirigidos a alumnos de Educación Primaria.	
Óscar Navarro, Ana Isabel Molina y Miguel Lacruz	
Capítulo 6 - -----	57
EvDebugger: Las gramáticas de atributos hechas fáciles.	
Daniel Rodríguez-Cerezo, Pedro Rangel Henriques y José-Luis Sierra	
Capítulo 7 - -----	67
Diseño y Programación de un Sistema Háptico Educativo basado en Arduino.	
Jorge Juan Gil, Iñaki Díaz, Xabier Justo, Pablo Ciáurriz y Ana López	
Capítulo 8 - -----	79
MEMS: del Aula a la Wii.	
Cecilia Gimeno, Carlos Sánchez-Azqueta, Santiago Celma y Concepción Aldea	

Capítulo 9 - -----	91
Desarrollo de un entorno personal de aprendizaje basado en un laboratorio remoto para el estudio de instrumentación electrónica.	
Gabino Jiménez-Castillo, Catalina Rus-Casas, Francisco José Muñoz-Rodríguez, Juan Ignacio Fernández- Carrasco	
Capítulo 10 - -----	101
Web docente: Soporte para el aprendizaje activo con Instrumentación Virtual.	
Iñigo J. Oleagordia Aguirre, Mariano Barrón Ruiz, José I. Sanmartín Díaz	
Capítulo 11 - -----	113
Entrando en pista. Despegando hacia la ruta de la innovación docente.	
Antoni Perez-Poch	

Introducción de los editores

Este volumen que ahora tienes en tus manos o en la pantalla del ordenador, corresponde al octavo volumen de la serie de libros TICAI (TIC para el Aprendizaje de la Ingeniería).

Esta serie de libros nació en el año 2006 con la idea de recopilar algunos de los mejores trabajos presentados en los congresos de habla española y portuguesa en el ámbito educativo, en concreto, aquellos que abordaban la utilización de las TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje en la ingeniería. Ocho ediciones después se sigue manteniendo este mismo objetivo.

Desde sus orígenes se trató de una iniciativa conjunta de los Capítulos Español y Portugués de la Sociedad de Educación del IEEE. Por ello, dentro del amplio abanico de la ingeniería, los trabajos se centran en las áreas de interés del IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers): Ingeniería Eléctrica, Tecnología Electrónica, Ingeniería de Telecomunicación e Ingeniería Informática, principalmente.

Su finalidad última es dar a conocer los trabajos, aumentando su difusión, pero también el mutuo conocimiento entre los autores y poder obtener una visión global de los campos tratados, los avances conseguidos... permitiendo esa necesaria reflexión y posterior debate sobre el camino recorrido y lo que falta por recorrer en la comunidad docente universitaria, en concreto para aquellos que nos dedicamos a la ingeniería en los ámbitos del IEEE.

Siguiendo este espíritu, se presenta una selección de trabajos recopilados de los congresos:

- XV International Conference on Human Computer Interaction - Interaccion 2014, September 10-12, 2014. Puerto de la Cruz. Tenerife. Spain, (<http://interaccion2014.uil.es/>).
- 1st International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education - CISPEE, 2013, 31 Octubre – 1 Noviembre, 2013, Oporto (Portugal), con temática: "Education in Engineering: Challenges for Innovation", (<http://www2.isep.ipp.pt/cispee/>).
- XX Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática - JENUI 2014, 9-11 Julio, Oviedo, España, (<https://jenui2014.uniovi.es/>).
- XVI Simposio Internacional de Informática Educativa - SIIE 2014, 12-14 de Noviembre de 2014, Logroño, La Rioja, España, (<http://research.unir.net/siie2014/>).
- XI Congreso de Tecnologías, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica - TAEE 2014, 11-13 Junio de 2014, Bilbao, España, (<http://www.taee2014.es/>).

Esta recopilación no hubiera sido posible sin la inestimable colaboración de Carina Soledad González González, Manuel Carlos Felgueiras, Gustavo Alves, Edmundo Tovar, José Luis Sierra, Javier García Zubía, Ignacio Angulo y Jesús Arriaga. A todos ellos muchas gracias.

A los editores les gustaría agradecer también al Consejo Social de la Universidad de Vigo por la financiación que permitió la publicación de este volumen de TICAI.

Inmaculada Plaza García y Martín Llamas Nistal

Editores de TICAI 2013-2014

Capítulo 1

Enseñanza universitaria en redes sociales y aprendizaje autorregulado. Estudio de caso.

Adriana Gewerc Barujel
Departamento de Didáctica y Organización Escolar
Universidad de Santiago de Compostela
Santiago de Compostela, España
adriana.gewerc@usc.es

Ana Rodríguez-Groba
Departamento de Didáctica y Organización Escolar
Universidad de Santiago de Compostela
Santiago de Compostela, España
ana.groba@usc.es

Title – University teaching in social networks and self-regulated learning. A case study.

Abstract - Social networks have become a new form of fast and horizontal communication which allow students to work in a new context where they can create, share and collaborate with friends. In that sense they have become allied with self-regulated learning development (SRL).

This paper presents a study analyzing an experience at the University of Santiago de Compostela, where Stellae Research Group teachers worked on subjects from various degree programs at the Faculty of Education in an academic social network.

The proposed methodology involved the elaboration of student e- Portfolios with a personal space for their learning process to be evidenced.

The study analyzed how these environments enabled the development of student's SRL.

Self- Regulated Learning (SRL) is a skill in demand in the 21st century society. It aims for individuals to address the need to “learn to learn” successfully.

Knowledge is recognized to be the result of interaction between individuals and the environment, thus, revealing the importance that context plays in teaching processes. As discussed by Hadwin et al. [5] self-regulated learning can be socially regulated through activities supported by others (co- regulation) or

when individuals negotiate their perceptions, objectives and strategies during shared tasks.

In this research, the following tools were used: MSLQ questionnaire Pintrich. [3]; techniques of social network analysis (SNA) in the framework of Learning Analytics, and assessment qualifications carried out by the teachers.

The results show that this type of teaching methodology encouraged students to interact and create a rich environment for developing self- regulated learning skills. The students with lowest scores on the initial questionnaire moved to more central areas on the graphs of network comments.

Keywords –Social networks, Learning Analytics, Social-Self Regulated Learning.

Resumen –Las redes sociales se han convertido en una nueva forma de comunicación rápida y horizontal [1] que permite a los alumnos trabajar en un contexto donde crear, compartir, colaborar e interactuar con sus compañeros, y se convierten en aliadas para el desarrollo del Aprendizaje Autorregulado (AA).

En este trabajo se presenta el estudio de una experiencia en la Universidad de Santiago de Compostela con una metodología en la que el alumnado elabora su e-Portfolio a través de una Red Social académica. Se indaga acerca de cómo el contexto social de la red incide en los procesos de aprendizaje autorregulado que los alumnos ponen en marcha. El AA es una de las habilidades demandadas por la sociedad del

siglo XXI. Se trata de un proceso constructivo en el cual la persona define sus objetivos y el camino a seguir para alcanzarlos [2]. Se utilizó el cuestionario MSLQ de Pintrich et al. [3]; técnicas de análisis de redes sociales (ARS) en el marco de Learning Analytics y las calificaciones de la evaluación procesual que llevan a cabo los docentes de las materias.

Los resultados muestran que el tipo de metodología utilizada en la enseñanza anima al alumnado a interactuar y generar un entorno rico para que se desarrollen habilidades de aprendizaje autorregulado.

El alumnado que peor valoración obtuvo en el cuestionario inicial se mueve hacia lugares más centrales en los grafos de comentarios de la red.

Palabras clave –Redes sociales, Analítica del Aprendizaje, Aprendizaje Socio/Autorregulado

I. INTRODUCCIÓN

En las condiciones socioeconómicas contemporáneas se hace necesaria una formación que, más allá de las fronteras de la educación formal, posibilite la adquisición de habilidades que permitan el aprendizaje a lo largo de la vida. Se busca, por lo tanto, un modelo que intente que los alumnos sean aprendices activos [4], y protagonistas responsables de su aprendizaje [5]. En ese contexto surge el concepto de aprendizaje autorregulado que puede ser considerado como una habilidad de los estudiantes para establecer por sí mismos los objetivos que pretenden alcanzar y la manera en que se llega a ellos [6]. Es una de las principales metas que se deben conseguir en el nivel universitario para que pueda distinguirse de los demás niveles del sistema educativo [7] y una de las habilidades demandadas en estos inicios del siglo XXI. Como señalan Espuny, González, Lleixà y Gisbert [8], las redes sociales pueden ser herramientas que ayuden a conseguir este objetivo a través de los métodos participativos que se adoptan en el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES).

El contexto donde el estudiante pone en marcha sus estrategias de aprendizaje autorregulado influencia sus comportamientos, cognición y motivación. De ahí que, cuando los espacios de enseñanza y aprendizaje se utilizan para fomentar las conexiones entre alumnos/as, entre ellos y tutores o, entre una comunidad y sus recursos de aprendizaje [9], la regulación acaba adquiriendo el

carácter no solo de “auto”, sino que también de socialmente regulada.

En este trabajo se presenta una investigación que analiza los procesos de socio-regulación del aprendizaje del alumnado en una materia de la Universidad de Santiago de Compostela. La asignatura pretende que los alumnos desarrollen y pongan en marcha estrategias de autorregulación en una red social propia, donde las posibilidades de compartir e interactuar le permiten la creación de una comunidad de aprendizaje. Para analizar esto se han utilizado: el cuestionario MSQ [3] y algunas técnicas de análisis de redes sociales enmarcadas en Learning Analytics. Los hallazgos nos permiten poner de relieve la importancia del contexto en la regulación del aprendizaje del alumnado y el lugar que ocupa la colaboración en su desarrollo.

En los siguientes apartados se exponen el referente teórico- metodológico del estudio, así como su discusión y resultados. Por último se presentan conclusiones y propuestas a tener en cuenta para la mejora de la enseñanza universitaria.

II. APRENDIZAJE SOCIO/AUTORREGULADO

El proceso de regulación del aprendizaje se define como un proceso activo y constructivo por el cual el estudiante establece sus propios objetivos, procurando monitorizar, regular y controlar sus pensamientos, motivación y comportamiento de acuerdo a dichos objetivos [2].

Los sujetos necesitan seleccionar, estudiar y crear ambientes para optimizar el aprendizaje con *comportamientos* que les conduzcan a alcanzar sus objetivos. Se trata de actividades tales como buscar información, preguntar y buscar consejos, tener un lugar específico para el estudio, etc. [10]. La *cognición* incluye procesos de percepción, atención, cognición espacial, imaginación, lenguaje, memoria, resolución de problemas, creatividad, pensamiento e inteligencia [11]. Podemos considerar la *motivación* “como un conjunto de procesos implicados en la activación, dirección y persistencia de la conducta” [12] y todos estos factores se encuentran fuertemente influidos por el *contexto* donde interactúan y se ponen en marcha. Ahora bien, éste último no es solo un elemento que rodea a los aspectos involucrados, sino que influye directamente en la manera en que se desarrollan.

Desde la teoría socio-cultural [13] justamente se llama la atención sobre el hecho fundamental que ningún estudiante aprende aislado del ambiente y las herramientas sociales [14] ya que el conocimiento es el resultado de un proceso de interacción entre el individuo y su entorno [13].

Si el aprendizaje es social y no se aprende al margen de los demás, tiene sentido afirmar que la regulación del mismo es también social, ya sea influenciada por el contexto, a través de la participación, o situada en los sistemas de actividad [15], cuando las tareas de aprendizaje que se realizan están apoyadas por otros, o cuando se comparten tareas, percepciones, objetivos y estrategias [16].

Por lo tanto, la autorregulación tiene lugar cuando se realiza un trabajo de forma independiente, cooperativo o colaborativo, que conduce a cambios en los conocimientos, las creencias y las estrategias de los individuos. Estos cambios, que se trasladan a las nuevas tareas, tienen como objetivo final adaptación personal de la actividad reguladora [15].

Hadwin et al. [17] señala que la autorregulación del aprendizaje puede llegar a ser socialmente regulada a través de las actividades que se apoyan en otros (co - regulación), o cuando los individuos negocian sus percepciones, objetivos y estrategias en tareas compartidas.

La co-regulación se ha visto influida por la teoría sociocultural, que hace hincapié en la apropiación gradual que se produce al compartir problemas y tareas comunes a través de las interacciones interpersonales [18]. Los modelos sociocognitivos señalan, desde este marco, que es el individuo el que desarrolla su aprendizaje autorregulado, pero éste es asistido y moldeado por el contexto.

Esta asistencia se concreta en los andamios [13], aquellos elementos que ayudan a traspasar la Zona de Desarrollo Próximo, superando la distancia entre el nivel real, determinado por la capacidad de un alumno para resolver independientemente un problema y el potencial que posee. Los andamios se caracterizan por ser propuestas que ayudan a la resolución de un problema, bajo la guía de un adulto o en colaboración con otros compañeros. El intercambio de ideas, explicaciones, objetivos y las actividades que se articulan entorno a una tarea, contribuyen a las construcciones y reconstrucciones de las habilidades consideradas dentro del aprendizaje autorregulado [15].

Las redes sociales académicas se transforman en entornos de trabajo que posibilitarían el desarrollo de estas habilidades.

A) LAS REDES SOCIALES COMO CONTEXTO PARA DESARROLLO SOCIAL- SRL.

Las redes sociales académicas han convertido en un nuevo escenario educativo, proyectando las posibilidades que ofrece la web 2.0 y estimulando a que el estudiante conecte con una comunidad virtual de aprendizaje [19]. Se trata de redes (Knowledge Networks) que promueven la adquisición de la información y la construcción conjunta del conocimiento [20]. Dos rasgos la distinguen de otros tipos de comunidades: la elección del aprendizaje como objetivo explícito de la comunidad y el uso de las tecnologías digitales para el ejercicio de la acción educativa intencional [21]. Ahora bien, las posibilidades de que esto se produzca depende del tipo de enseñanza planteada, relacionando los tres componentes básicos del triángulo didáctico: el contenido que es objeto de enseñanza y aprendizaje, la actividad del profesor/a y la de los estudiantes [22].

La imperiosa necesidad de desarrollar habilidades autorregulatorias no puede pensarse al margen de estos componentes. Una propuesta de enseñanza para este objetivo deberá apoyarse en actividades que estimulen la toma de decisiones autónoma por parte de los estudiantes, en un entorno rico en interacciones que se transformen en pilares adecuados para el logro de las competencias requeridas. En las redes sociales académicas los sujetos comparten información y son un nicho que ayuda a la autorregulación, en la medida que la exposición de las producciones de los compañeros/as pueden transformarse en andamios que ayuden a avanzar. Para esto es necesaria la presencia docente [23] que apoye un trabajo en profundidad alejado de los hábitos cognitivos que pueden haberse generado en el contexto de las redes sociales para el ocio [24] [25].

El trabajo con otros ayuda a crecer en diferentes sentidos, de allí que las redes sociales académicas puedan transformarse en un entorno ideal para la creación de comunidades que apoyen el desarrollo de habilidades socio-autorreguladas de los estudiantes.

III. PROPUESTA DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE SOCIO-AUTORREGULADO

En este contexto es importante el papel de la red social como marco de trabajo, pero no debe escaparse que es fundamental tener en cuenta la propuesta de enseñanza que enmarca y posibilita el trabajo en la red, pues define, junto con las características del alumnado, las posibilidades y limitaciones en cuanto al desarrollo de las estrategias de aprendizaje autorregulado (Figura 1).

En este apartado se describe la red social, sus características y la propuesta de enseñanza en la que se enmarcan esta investigación.

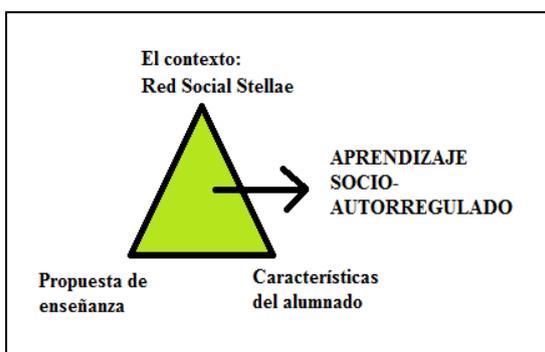


Fig. 1. Elementos que condicionan los procesos de aprendizaje socio-autorregulado

A) EL CASO DE LA RED SOCIAL DEL GRUPO STELLAE

Desde el año 2006, docentes del grupo de investigación Stellae, trabajan en asignaturas de diferentes titulaciones de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Santiago de Compostela con la plataforma de código abierto ELGG, alojada en un servidor institucional (<http://stellae.usc.es/red>).

Se trata de una red social que incluye foros de discusión, blogs, micro-blogging en el espacio central, detalles del perfil de usuario, listas de amigos, pantalla de actividades, muro personal, calendario, favoritos, páginas y la posibilidad de realizar comentarios en las diferentes contribuciones que hacen los compañeros. Cuando un usuario añade un contenido en la plataforma tiene la opción de seleccionar con quién quiere compartirlo (privado, amigos, todos los usuarios de la plataforma o público). Esto último posibilita que el contenido pueda ser compartido, o que por el

contrario la visualización sea nula y se creen espacios individuales.

Estas posibilidades se conectan con un encuadre pedagógico que enmarca una propuesta para apoyar el desarrollo del aprendizaje socio-autorregulado [26]. Debe tenerse en cuenta que el tipo de tarea y el contexto de aprendizaje moderan el uso real de las herramientas tecnológicas que se utilizan [27].

B) LA MATERIA Y SU PROPUESTA DE ENSEÑANZA

En esta investigación analizamos el proceso de socio-autorregulación del aprendizaje que realiza el alumnado, durante el curso 2013-2014, de una de las asignaturas que hace uso de la plataforma: Tecnología Educativa.

Se trata de una materia troncal de 3º curso del Grado de Pedagogía que utiliza la modalidad Blended Learning, con clases presenciales semanales en donde el alumnado vive experiencias de discusión sobre las temáticas del programa o de práctica con algún recurso concreto. Además, los alumnos crean un espacio personal en la red social, y a través de él se conectan con sus compañeros y con los materiales de la asignatura. Se busca “el desarrollo de la autonomía del estudiante, una meta que es apoyada por una combinación de clases presenciales y contextos en línea en los que el maestro está jugando un apoyo” [28].

En el espacio personal el alumnado evidencia su proceso de aprendizaje (e-portfolio). Esto les induce a realizar una búsqueda que muestra cómo han re-significado los conceptos trabajados en las clases presenciales y a incorporar una entrada en el blog, un archivo en el que integra sus reflexiones producto de las clases y de las lecturas realizadas, favoritos, tweets, etc. Este espacio es compartido con los compañeros que forman parte de la red, quienes pueden leer y comentar las aportaciones que se realizan. De este modo, aunque las evidencias que cada uno va recogiendo del proceso son individuales, al ser expuestas públicamente en el espacio “virtual”, se ven influenciadas en todo momento por el contexto social en el que están insertas. Se realizan también trabajos en pequeños grupos en los que se coopera para el logro de un producto compartido.

Este conjunto de elementos que configuran su entorno personal es evaluado por las profesoras, a través de una rúbrica presentada al inicio del curso, en dos momentos: en la mitad del desarrollo de la asignatura y al final. A pesar de que existen una serie de trabajos obligatorios que deben cubrir en la asignatura, cada alumno/a recorre su propio camino, seleccionando temas y recursos que complementan la formación. La propuesta de enseñanza de libertad para que cada uno seleccione y profundice en los temas que, a su entender, sean más significativos, de aquellos contenidos que se trabajan durante las clases presenciales. Por eso cada espacio personal en la red es diferente, ya que la selección se realiza en función de los intereses, objetivos y experiencias de cada uno.

Se parte de la idea de que cuanto menos estructurada es la actividad, más estrategias de aprendizaje se ponen en marcha, aspecto fundamental del aprendizaje autorregulado [29]. Por lo tanto, se intenta no ofrecer pautas específicas que constriñan este proceso, por el contrario, se estimula la toma de decisiones consciente. Y al mismo tiempo, es aprendizaje colaborativo, porque los miembros del grupo representan agentes interdependientes de autorregulación, pero constituyen una entidad social que crea posibilidades y limitaciones para el grupo y compromiso individual [29].

De esta forma, el alumnado se enfrenta a situaciones de aprendizaje social, donde se plantean actividades colaborativas y espacios para el intercambio que requieren el desarrollo de procesos motivacionales, cognitivos y habilidades socio-emocionales, distintas a las que tienen lugar situaciones de aprendizaje muy estructuradas [30]. En la figura 2, se ve el esquema que explica la variación de la regulación cuando se pone en juego en un entorno social. Sintetiza el proceso, tal como es entendido en la asignatura, sobre todo teniendo en cuenta cómo se pretende que los procesos individuales se vean influidos por el contexto social en donde se producen. El espacio central de confluencia, señala el juego que marcan las interacciones y que afecta a los individuos y sus habilidades de regulación, en tanto que grupo, pero también como miembros aislados.

La figura 3 representa a la red social, en la que el aprendizaje autorregulado adquiere otro

significado, cuando se ve moldeado por el contexto y la relación con los otros.

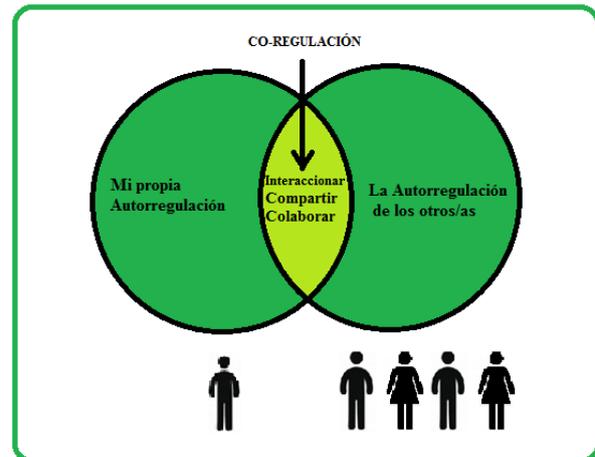


Fig. 2. Variación en regulación con coregulación



FIG. 3. La red social como contexto

IV. METODOLOGÍA

En la indagación acerca del aprendizaje socio-autorregulado de los estudiantes de la asignatura antes descrita, interesa analizar qué sucede en el contexto de la red social, cómo se desarrolla el proceso de intercambio que está estimulando los procesos autorregulatorios y qué impacto puede tener en el rendimiento del alumnado. Para ello, al inicio del curso se ha aplicado el cuestionario MSLQ elaborado por Pintrich et al. [3].

Los resultados del cuestionario han permitido realizar un diagnóstico del punto de partida del alumno en relación al aprendizaje autorregulado. También se han utilizado herramientas de

Análisis de Aprendizaje, específicamente de ARS (Social Network Analysis) para observar las variaciones de la red en cuanto a grado de centralidad y densidad, tomando los comentarios realizados a los compañeros. Por último se relacionaron estos datos con los resultados obtenidos durante la primera evaluación de la asignatura.

El cuestionario MSQ (Motivated Strategies for Learning Questionnaire) de Pintrich et al. [3] fue traducido y adaptado al contexto de desarrollo de la asignatura. Se trata de una herramienta para evaluar las orientaciones motivacionales de los estudiantes universitarios y el uso de las diferentes estrategias de aprendizaje en la universidad. Presenta 81 ítems que se dividen en dos secciones: las estrategias de motivación (31) y las estrategias de aprendizaje (50). Esta última sección se subdivide, a su vez, en cuestiones que analizan estrategias cognitivas, metacognitivas y la gestión que los estudiantes hacen de los recursos de los que disponen. Se ha adaptado la escala de valoración, de 1 a 5, dos valores menos que la escala original, con el objetivo de que el alumnado fuese más preciso.

Por otro lado, con el objeto de sacar a la luz los procesos de interacción que se producen en el contexto de la red social, se utilizaron técnicas de ARS (Social Network Analysis) (Long y Siemens, 2011) en el marco del Learning Analytics (LA). LA consiste en "la medición, recopilación, análisis y presentación de datos sobre los alumnos y sus contextos, con el objetivo de entender y optimizar el aprendizaje y los entornos en los que se produce" (Learning Analytics and Knowledge Conference, 2011). Permite la construcción de sentido en torno a una serie de datos que por sí solos ofrecen "medidas" o números y posibilitándonos comprender cómo los alumnos se desenvuelven en el proceso.

A través de software Ucinet y NetDraw se construyeron grafos de interacciones (entendidas como los comentarios que se realizan a las aportaciones de los compañeros) y se analizaron los siguientes parámetros:

- *Densidad de la red*: es la proporción de vínculos entre los nodos del grafo en relación al total de vínculos posibles. Así, una red donde todos los actores están vinculados con

todos los demás, diremos que tiene densidad máxima. En las redes en las que unos actores están vinculados, en función del momento, la densidad irá variando. Este parámetro nos indica la intensidad de la colaboración.

- *Centralidad de un nodo*: indica su importancia en la red social como consecuencia de las relaciones. Una red centralizada tendrá un conjunto de nodos relevantes que establecen un gran número de relaciones. En este caso muestran la noción de indegree y outdegree que contabilizan las relaciones de entrada y salida de un nodo, es decir, tanto los comentarios realizados hacia el nodo (indegree) como los realizados por ese nodo hacia otros compañeros (outdegree).

Estos dos elementos permiten conocer de cerca cómo funciona esta red, indagan las interacciones entre compañeros y en su evolución a través del tiempo. Observar el alumnado que permanece más alejado del proceso y a los que se encuentran inmersos; identificar hacia dónde se dirigen los miembros; y, por último, conocer los procesos de aprendizaje socio- autorregulado que se desarrollan en este espacio.

Nos interesa resaltar si existen variaciones en el modo y número de interacciones que se dan en la materia a lo largo del curso, indagando si apuntan hacia una mejora de los procesos de socio- autorregulación de la clase. Para ello se aplicaron las técnicas de ARS en cuatro momentos (3º semana, 5º semana, 10º semana y 16º semana). Por último, se relacionaron estos resultados con las calificaciones obtenidas por el alumnado.

V. RESULTADOS

El cuestionario MSQ se aplicó al iniciar el curso, buscando obtener información sobre las habilidades de aprendizaje autorregulado del alumnado antes de comenzar el proceso, con el objeto de implantar estrategias que favorecieran su desarrollo. La tasa de respuesta fue del 72% (52 alumnos/as de 72). La media de las puntuaciones obtenidas fue de 3,49 (transformada a una escala del 1-7, se corresponde con 4,88). Investigaciones precedentes en universidades de distintos países que utilizaron el mismo cuestionario obtuvieron una media de 4,97 en Argentina [32] y 4,90 en

Navarra, España [33], lo que indica que no hay diferencias significativas entre universidades.

Esto supone que el alumnado de nuestro caso se encuentra en el nivel medio de desarrollo de las habilidades de aprendizaje autorregulado. La puntuación más baja ha sido de 4,06 y la más alta de 5,99. Podríamos inferir que el alumno/a con la puntuación más baja posee, por un lado, menor motivación y por otro, que no tiene tan desarrolladas estrategias organizativas, para pedir ayuda a otros compañeros y profesores, de aprovechamiento del tiempo, o mantenimiento del esfuerzo, etc.

El uso de las herramientas de Learning Analytics ha permitido generar grafos que evidencian una red descentralizada con alta densidad de interacciones, con un total de 2550 comentarios, lo que indica la gran actividad que mantienen los 72 alumnos matriculados en la asignatura.

La red va disminuyendo en su grado de centralidad (Tabla 1) y, en simultáneo, aumenta el grado de densidad lo que implica que cada vez más alumnos/as interactúan y contribuyen a que la base de las interacciones se reparta entre muchos más nodos, como vemos en la Tabla 1.

TABLA I
Índices de centralidad por semanas

Semana	(Outdegree)	(Indegree)
3º	81.966%	11.162%
5º	80.549%	14.437%
10º	79.030%	13.420%
16º	65.059%	14.374%

TABLA II
Densidad por semanas

Semana	Densidad
3º	5.640
5º	8.047
10º	8.409
16º	25.297

En el análisis de la centralidad de cada nodo, se evidencia la tendencia a acercarse al centro del grafo a medida que avanza el tiempo. Esto puede interpretarse como avance de procesos de autonomía al realizar comentarios en las aportaciones de los compañeros y contribuir a la densidad de la red.

Por otro lado, el alumnado que ha recibido mayor puntuación en el cuestionario, al iniciar el proceso, y que por lo tanto considera que tiene amplio desarrollo de habilidades autorreguladas, se mantiene en el centro del grafo desde el inicio y hasta la semana 16 (figuras 4, 5, 6 y 7). Mientras tanto, muchos de los alumnos que en el cuestionario obtuvieron la puntuación más baja, semanas después han aumentado su participación, como puede observarse en las figuras y datos. La proporción de las interacciones de la red crece a un ritmo constante con una clara tendencia de los nodos a dirigirse hacia el centro aportando densidad a la red. Se han considerado como bajas las puntuaciones de los 10 alumnos con peor resultado en el MSLQ, este número responde al 19% del total del alumnado (Tabla 3).

TABLA III
Grupos establecidos según resultado MSLQ

	MSLQ Bajo	MSLQ Medio	MSLQ Alto
Porcentaje seleccionado	19%	64%	17%
Número de alumnos/as	10	33	9
Puntuaciones obtenidas X	$2.91 > X < 3.27$	$3.28 > X < 3.79$	$.8 > X < 4.29$

En los grafos representados (figuras 4, 5, 6 y 7) se han pintado de colores (verde, naranja, gris, marrón y rosa) cinco de los alumnos que más baja puntuación alcanzaron, mostrando cómo van acercándose al centro del grafo e incrementando el número de sus interacciones. Podemos observar que aquellos que se encontraban en los márgenes de esta red, se van acercando al núcleo del grupo-clase virtual, siendo en la figura 5 donde se ve que se cómo se han integrado.

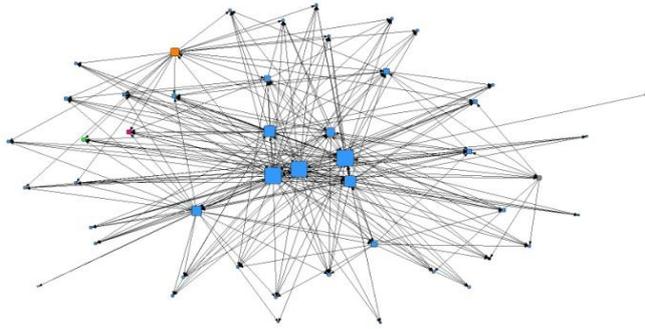


FIG. 4. Mapa interaccione: semana 3

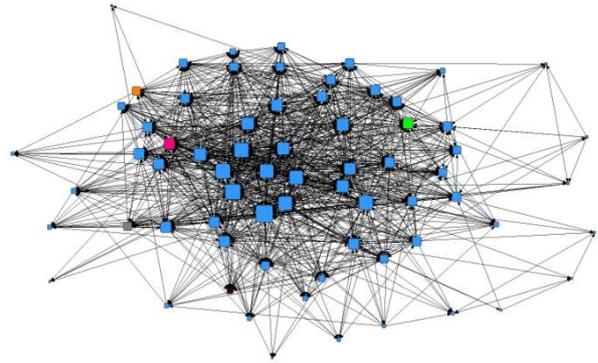


FIG. 7. Mapa interaccione: semana 16

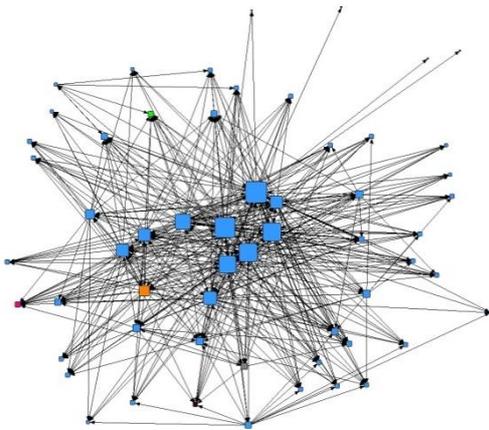


FIG. 5. Mapa interaccione: semana 5

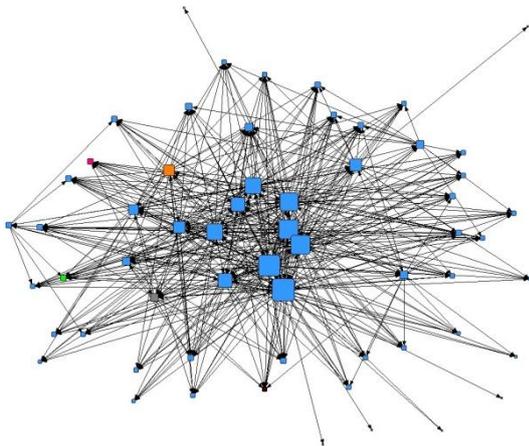


FIG. 6. Mapa interaccione: semana 10

En la siguiente tabla (tabla IV) podemos observar los porcentajes relacionados con el grado de centralidad de la red según los 5 casos seleccionados (aproximando números enteros en los casos en los que había más de 1%).

TABLA IV
Alumnos con baja puntuación MSLQ.
Centralidad en distintas semanas *Outdegree **Indegree

Alumno	MSQL	Semana 3	Semana 5	Semana 10	Semana 16
1	3,1	0.4*/0.11**	41*/9* *	40*/9**	33*/10
2	3,2	0.16*/0.10* *	15*/12 **	21*/13* *	19*/17
3	3,2	0*/0.18**	0*/19* *	0*/18**	18*/28
4	3,2	0*/0.12**	0*/15* *	0*/15**	0*/19**
5	3,2	0*/0.14**	0*/19* *	0*/18**	6*/31 **

Debe señalarse también, que a medida que pasan las semanas del curso aumenta el número de nodos e interacciones, de 49 nodos en la 3ª semana, a 65 en la semana 16, entendiendo que los 7 restantes (pues son 72 alumnos los matriculados en la asignatura) pueden, o bien haber abandonado la materia formando parte de la plataforma, o no haber interactuado hasta el momento con ningún compañero.

Las relaciones entre los datos extraídos en el ARS con las calificaciones resultantes de la evaluación procesual, que realizaron los docentes de la asignatura, muestran que existe relación entre las calificaciones del alumnado y el sitio que ocupa en

el grafo. No todos los alumnos que se encuentran representados en el centro son los que mejores notas poseen. Pero aquellos que se encuentran en los márgenes más externos se corresponden en su gran mayoría, con aquellos que peores notas poseen en la materia.

Sin embargo, a medida que avanza la materia, las posiciones de estos alumnos tienden a ser más céntricas, por lo que podría entenderse que la materia ayuda a los alumnos que peor se desenvolvían en sus inicios, a poner en marcha estrategias para mejorar, la que aquí se recoge tiene que ver con la interacción con sus compañeros/as. Debe resaltarse además que en la última semana analizada todos los alumnos han recibido algún comentario (no existe el 0% indegree) aunque no todos los estudiantes son igual de activos a la hora de iniciar o responder a esas interacciones.

VI. CONCLUSIONES

Como señalan las investigaciones, la regulación del aprendizaje individual y social depende de la situación, de las características individuales, el papel del contexto, el tipo de tarea y el apoyo que reciban [27].

El estudio realizado ha puesto de relieve que las redes sociales posibilitan el desarrollo de habilidades de aprendizaje autorregulado en un contexto donde la participación, entendida a través de los comentarios, puede ser fundamental. La relación entre las creencias que tiene el alumnado sobre sus estrategias de motivación y aprendizaje y el proceso de enseñanza desarrollado, ha evidenciado que aquellos que tienen una mejor valoración en el cuestionario (MSLQ) tienden a establecer más conexiones con otros, situándose en el centro del grafo a medida que avanza la asignatura. Esto indica que se utilizan estrategias de apoyo con otros compañeros, al mismo tiempo que ofrece nuevas evidencias acerca del valor de la dimensión social en el proceso de autorregulación del aprendizaje. En este sentido, se ha detectado que a través de la propuesta de enseñanza y aprendizaje planteada, los alumnos que menos habilidades poseían al inicio, comienzan a desarrollar estrategias socio-reguladoras apoyándose en los otros (Figura 1), que se transforman en andamios para la mejora de su propio proceso. Podría indicarse que las estrategias de los alumnos que se encontraban más débiles (según el cuestionario), comienzan a fortalecerse

en una metodología de enseñanza donde el alumno es el protagonista [28].

Por otro lado, existe relación entre la posición en el grafo y los índices sobre los que se asienta, y las calificaciones obtenidas en la evaluación de proceso. Aquellos que se sitúan en los bordes del grafo obtienen baja calificación porque no poseen estrategias socio-autorreguladoras tales como, pedir apoyo y ayuda de otros compañeros, interactuar, etc. La co-regulación del aprendizaje implica la reconstrucción de la propia regulación, incorporando habilidades aún más complejas [29], por este motivo el alumno con menos estrategias podría tardar en sumergirse en el entorno y comenzar a nadar hacia el centro de este entramado.

A lo largo de las semanas ha aumentado la interacción entre los nodos, construyendo una red más descentralizada y unida donde el protagonismo está dividido entre muchos de sus actores. Se puede interpretar que la propuesta metodológica propicia las interacciones, pues ningún alumno permanece totalmente aislado en una red que mantiene viva su dimensión “social”. Los andamios entre el alumnado tienen cabida en esta madeja de interrelaciones donde la regulación social del aprendizaje adquiere todo su sentido.

Además de las conclusiones que se extraen de este análisis, se considera interesante hacer algunas observaciones de cara a la mejora de la enseñanza y el aprendizaje en la Educación Superior:

- Las relaciones observadas entre el número de interacciones y la mejora de los resultados, evidencian, una vez más, la importancia de la dimensión social en el aprendizaje [13]. Romper con el aislamiento del alumnado y aprovechar las posibilidades que nos ofrece el trabajo colaborativo debe ser uno de los objetivos de la enseñanza universitaria.
- Las redes sociales académicas son espacios apropiados para el trabajo en habilidades de co-regulación. Sin embargo, el trabajo en este entorno exige tener en cuenta la propuesta metodológica que limita o posibilita estos aspectos.
- La enseñanza tendría que abogar por un alumnado protagonista de su aprendizaje que pueda no sólo seguir el camino marcado, sino crear el propio, con el apoyo del docente y el de sus compañeros.

o Trabajar en la mejora del aprendizaje socio-autorregulado de nuestros alumnos debería ser más que una opción. Capacitarlos para “aprender a aprender” es quizás como dijo Weinstein [34] la meta más importante de la educación universitaria.

REFERENCIAS

- [1] M. Cebrián. “Nuevas formas de comunicación: cibermedios y medios móviles”. *Comunicar*, 33, pp.10-13, 2009.
- [2] P. R. Pintrich. “The role of goal orientation in self-regulated learning”. En *Handbook of self-regulation*. Ed. P. R. Pintrich, y M. Zeidner. San Diego, CA: Academic Press, pp. 452–502, 2000.
- [3] P.R. Pintrich, W. J. Mckeachi, D.A. Smith, R. Doljanac, Y.G. Lin, M. Naveh-Benjamin, T. Crooksy S. Karabenick., *A manual for the use of the motivated strategies for learning questionnaire (MSLQ)*. National Center for Research to Improve Post secondary Teaching and Learning. Michigan: University of Michigan. 1991.
- [4] C. Coll y C. Monereo. *Psicología de la educación virtual*. Madrid: Morata, 2008.
- [5] R. Azevedo, D. Moos, J. Greene, F. Winters, y J. Cromley, “Why is externally-facilitated regulated learning more effective than self-regulated learning with hypermedia?”. *Educational Technology Research and Development*, vol. 56, 1, pp. 45–72, 2008.
- [6] A. Kitsantas, y N. Dabbagh, 2011. “The role of Web 2.0 technologies in self-regulated learning”. *New Directions for Teaching and Learning (NDTL)*, 126, pp. 99-106, 2011.
- [7] J. Rué. *El Aprendizaje Autónomo en Educación Superior*. España: Narcea, 2009.
- [8] C. Espuny, J. González, M. Lleixà, y M. Gisbert, “Actitudes y expectativas del uso educativo de las redes sociales en los alumnos universitarios”. *Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento*, vol. 8, 11, pp. 171-185, 2011.
- [9] S. Banks, P. Goodyear, V. Hodgson y D. McConnell (eds). *Advance in Research on Networked Learning*. Kluwer: Academic Publishers, 2004.
- [10] B.J. Zimmerman. “Theories of self-regulated learning and academic achievement: An overview and analysis”. En *Self-regulated learning and academic achievement: Theoretical perspectives*, Ed. B. Zimmerman y D. Shunk. Mahwah, NJ: Erlbaum, pp. 1–37, 2001.
- [11] A. V. Martín. “Más allá de Piaget: Cognición y Educación”. *Teoría de la educación*, 11, pp.127-157, 1999.
- [12] J.C. Nuñez. Motivación, aprendizaje y rendimiento académico. En *Actas do X Congresso Internacional Galego-Português de Psicopedagogía*. Universidade do Minho, Braga, 41-67, Septiembre, 2009.
- [13] L.S. Vygotsky. *Historia del desarrollo de las funciones psíquicas superiores*. Editorial Científico Técnica, La Habana, 1987.
- [14] G. Huber. “Aprendizaje activo y metodologías educativas/Active learning and methods of teaching”, *Revista de Educación*, Special Number, pp. 59-81, 2008.
- [15] A. Fiona, S. Järvelä y M. Miller, “Self-Regulated, Co-Regulated and Socially Shared Regulation of Learning”. En *Handbook of Self-Regulation of Learning and Performance*, Ed. Fiona, A., Järvelä, S. y Miller, M. New York: Routledge. pp. 65-87, 2011.
- [16] I. Molenaar y S. Järvelä, “Sequential and temporal characteristics of self and socially regulated learning”. *Metacognition Learning*, 9, 1, 2014.
- [17] A.F. Hadwin y M. Oshige. “Self-regulation, co-regulation, and socially-shared regulation: Exploring perspectives of social in self-regulated learning theory”, *Teachers College Record*, vol. 113, 2, pp. 240-264, 2011.
- [18] A.F. Hadwin, L. Wozney y O. Pontin. Scaffolding the appropriation of self-regulatory activity: A socio-cultural analysis of changes in teacher-student discourse about a graduate student portfolio. Special Issue of *Instructional Science*, 33, pp. 413- 450, 2005.
- [19] G. Siemens. *Connectivism: Learning Theory or Pastime of Self-Amuse* [online]. 2006. Disponible en: http://www.elearnspace.org/Articles/connectivism_self-amused.htm.
- [20] L. Harasim, S.R. Hiltz, L. Teles y M. Turoff. *Learning networks: a field guide to teaching and learning online*. Cambridge, MIT Press. 1995.
- [21] A. Bustos y C. Coll. “Los entornos virtuales como espacios de enseñanza y aprendizaje. Una perspectiva psicoeducativa para su caracterización y análisis”. *Revista mexicana de investigación educativa*, vol. 15, 44, pp. 163-18, 2010.
- [22] A. Gewerc y L. Montero. “De las redes sociales para el ocio a las redes sociales para la academia” En *Educación, medios digitales y cultura de la participación*, Ed. D. Aranda, A. Creus y J. Sánchez-Navarro. Barcelona: UOCprees, 2013, pp. 197-222.
- [23] D.R. Garrison y T. Anderson. *E-learning en el siglo XXI*. Barcelona: Octaedro. 2005.
- [24] G. Siemens y M. Weller, “La enseñanza superior y las promesas y los peligros de las redes sociales”. *Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento*, 8, pp. 171-185, 2011.
- [25] M. Mollis. “La universidad en el contexto de los modelos neoliberales”. En *Conocimiento Tecnologías y Enseñanza, Políticas y prácticas universitarias*, Ed. A. Gewerc, Graó: Barcelona, pp. 65-75, 2013.
- [26] A. Gewerc, L. Montero y M. Lama, “Colaboración y redes sociales en la enseñanza universitaria”. *Comunicar XXI*, 42, pp. 56-63, 2014.
- [27] S. Volet y S. Järvelä, *Motivation en Learning contexts: Theoretical and methodological implication*. Oxford: An Imprint of Elsevier Science, 2001.
- [28] R. Ellisy P. Goodyear. *Students' Experiences of e-Learning in Higher Education: The Ecology of Sustainable Innovation*, New York: RoutledgeFalmer, 2010.
- [29] S. Järvelä, y H. Järvenoja. “Socially constructed self-regulated learning in collaborative learning

- groups". *Teachers College Records*, 113, 2, pp.350-374,2011.
- [30] P.H.Winne y N.E. Perry. "Measuring self-regulated learning". En *Handbook of self-regulation*, Ed. M.Boekaerts, , P.R Pintrich, M. Zainer. California: Academic Press, pp. 531-566, 2000.
- [31] P. Long y G. Siemens."Penetrating the fog. Analytics in learning and education".*Revista Educause*, 5, 46, pp.31-40,2011.
- [32]D. Donolo, A. Chiecher, y M. C. Rinaudo."Motivación y uso de estrategias en estudiantes universitarios. Su evaluación a partir del Motivated Strategies Learning Questionnaire", *Anales de Psicología*, 19,1, pp.107-119,2003.
- [33]C.Roces, J.Tourón, y M.González."Motivación, estrategias de aprendizaje y rendimiento de los alumnos universitarios". *Bordón*, 47, 1, pp.107-120.1995.
- [34] C.E.Weinstein. Students At-Risk for Academic Failure: Learning to Learn Classes. En *Handbook of College Teaching: Theory and Applications*, Ed. Prichard K.W y Sawyer, M. EE.UU: Greenwood Press, pp.375-385,1992.



Adriana Gewerc Barujel nació en Córdoba, Argentina. Es licenciada en Ciencias de la Educación por la Universidad Nacional de Córdoba-Argentina (1982) y Doctora en Pedagogía(1998) por la Universidad de Santiago de Compostela. Forma parte del grupo de investigación Stellae.

Actualmente trabaja como profesora titular en esta universidad impartiendo las asignaturas Tecnología Educativa y Multimedia y Software Educativo. Es coordinadora del Grado de Pedagogía de la Facultad de Ciencias de la Educación y Directora del Departamento de Didáctica y Organización Escolar.

Sus líneas de investigación se centran en la problemática y el significado de la integración de las tecnologías en las organizaciones educativas y sus implicaciones en la enseñanza. En ese contexto en el último tiempo explora para la docencia y la investigación, la utilización de nuevos entornos de enseñanza y aprendizaje.

Ha dirigido tesis doctorales sobre estas temáticas y tiene libros y artículos publicados que evidencian el trabajo realizado en estos años.



Ana Rodríguez-Groba nacida en O Porriño, Galicia. Es licenciada en Pedagogía (2007-2011) y Psicopedagogía (2011-2013) por la Universidad de Santiago de Compostela. Realizó un Máster en Procesos de Formación (2012-2013). Su participación en la investigación comenzó con un proyecto para la inserción de las TIC en universidades

latinoamericanas.

Actualmente realiza su Doctorado en Educación con una beca de Formación para el Profesorado Universitario, especializándose en el aprendizaje autorregulado en redes sociales, con dos estudios de caso en universidades gallegas. Forma parte del grupo de investigación Stellae de la USC y se encuentra inmersa en proyectos que trabajan sobre la formación de los maestros en el Grado y la mejora de la evaluación cuando se utilizan redes sociales.

Página en Blanco

Capítulo 2

DrMIPS -Ferramenta de Apoio ao Ensino e Aprendizagem de Arquitectura de Computadores

Bruno Nova

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Porto, Portugal

António Araújo e João C. Ferreira

INESC TEC e Faculdade de Engenharia da
Universidade do Porto
Porto, Portugal

Title – DrMIPS - Tool to Support Computer Architecture Teaching and Learning

Abstract –Computer architecture is an important subject in informatics and electrical engineering courses. However, students display some difficulties in this subject, mainly due to the lack of educational tools that are intuitive, versatile and with a graphical interface. Existing tools are not adequate enough or are very specific. In this paper, an educational MIPS simulator, DrMIPS, is described. This tool simulates the execution of an assembly program on the CPU and displays the datapath graphically. Registers, data memory and assembled code are also displayed and a performance analysis mode is also included. Both unicycle and pipeline implementations are supported and the CPUs and their instruction sets are configurable. The tool is open source and is currently available for PCs and Android devices, and is fairly intuitive and versatile on both platforms.

Keywords –MIPS; Simulator; Computer Architecture teaching

Resumo – Arquitectura de Computadores é uma disciplina importante nos cursos de engenharia informática e electrotécnica. Contudo, os estudantes demonstram algumas dificuldades nesta disciplina, principalmente

devido à falta de ferramentas educativas de apoio que sejam intuitivas, versáteis e com interface gráfica. As ferramentas existentes não são suficientemente adequadas ou são demasiado específicas. Neste artigo é descrito um simulador educativo do MIPS, o DrMIPS. Esta ferramenta simula a execução de um programa em *assembly* no CPU e mostra o caminho de dados graficamente. Registos, memória de dados e código máquina são também mostrados e um modo de análise de desempenho é também incluído. Ambas as implementações, unicycle e *pipelined*, são suportadas e as versões do CPU e respectivas instruções são configuráveis. A ferramenta tem o código fonte aberto e está actualmente disponível para PCs e dispositivos Android, e é bastante intuitiva e versátil em ambas as plataformas.

Palavras-chave –MIPS; Simulador; Ensino de Arquitectura de Computadores

I. INTRODUÇÃO

A. Motivação

A Arquitectura de Computadores é uma disciplina importante no plano de estudos dos cursos de Engenharia Informática e Engenharia Electrotécnica, como o Mestrado Integrado em

Engenharia Informática e Computação e o Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Nesta disciplina os estudantes adquirem os fundamentos sobre computadores e seus processadores, aprendendo tópicos como representação de dados, circuitos digitais, composição de um CPU, programação em *assembly* e desempenho de processadores.

Muitos estudantes demonstram dificuldades em entender vários assuntos desta disciplina, como processadores com *pipeline* e cálculo do desempenho de um processador. Uma razão para estas dificuldades está na ausência de ferramentas que possam, num ambiente integrado, apoiar o tratamento de vários tópicos de processadores de uma forma orientada para o ensino. Especificamente, detetou-se a falta de ferramentas que permitam aos estudantes ver graficamente a composição do caminho de dados de um CPU, consultar informações detalhadas sobre os dados à entrada e à saída de cada bloco funcional e observar os estados dos sinais de controlo para cada instrução executada pelo CPU, entre outras informações.

Existem várias ferramentas criadas para simular a operação de um CPU, e algumas delas contêm interfaces gráficas para mostrar o caminho de dados do CPU. Porém, a maioria delas é pouco adequada para fins educativos, são difíceis de usar e entender ou são direccionadas para um problema específico, sendo pouco versáteis.

B. Objectivos

O objectivo principal do trabalho apresentado foi criar uma ferramenta de apoio ao ensino e aprendizagem de arquitectura de computadores. Esta ferramenta educativa é um simulador do MIPS [1], que é um processador bastante conhecido na comunidade académica de arquitectura de computadores e também um dos processadores mais usados no ensino de disciplinas de arquitectura de computadores em universidades [2].

Este simulador foi desenvolvido no âmbito de uma Dissertação de Mestrado do MIEIC na FEUP. O seu desenvolvimento foi baseado nos seguintes requisitos:

- Permitir a configuração e parametrização do CPU;
- Permitir a simulação passo-a-passo de programas MIPS em *assembly*;
- Mostrar graficamente o caminho de dados e os valores nas entradas e saídas de cada componente;
- Simular ambas as versões uniciclo e *pipelined* do CPU;
- Ter um “modo de desempenho” que mostre as latências e o caminho crítico do CPU;
- Ser versátil, intuitivo e simples de utilizar.

Em termos de apoio, pretende ajudar os estudantes a melhor entender:

- A composição e funcionamento de um caminho de dados “simples”;
- Como as instruções são codificadas;
- Os valores dos sinais no caminho de dados;
- Blocos e sinais relevantes para cada instrução;
- *Pipelining*, conflitos, atalhos e protelamentos,
- Medição de desempenho e identificação do caminho crítico.

A ferramenta foi desenvolvida principalmente para computadores pessoais, mas uma versão para dispositivos Android, especialmente *tablets*, também foi criada.

O resto deste artigo está organizado em secções que a seguir se descrevem. A Secção II apresenta o estado da arte descrevendo os simuladores educativos mais relevantes. A Secção III explica como o código da ferramenta foi estruturado e como a lógica de simulação foi implementada. A Secção IV apresenta e detalha a implementação da interface gráfica. Por último, a Secção V refere as conclusões e discute possível trabalho futuro.

II. ESTADO DA ARTE

Tal como referido anteriormente, existem várias ferramentas que simulam o funcionamento de um CPU, e algumas até apresentam a composição do caminho de dados graficamente. Contudo, a maioria delas não são vocacionadas para instruir estudantes em disciplinas de arquitectura de computadores, são demasiado difíceis para um estudante usar ou focam-se num problema muito específico à margem do pretendido. Esta secção apresenta os simuladores

educativos mais relevantes, bem como as suas vantagens e desvantagens.

O QtSPIM (anteriormente chamado SPIM) [3] é um simulador com o código-fonte aberto, escrito em C++ e Qt, que executa programas MIPS32. Foi bastante utilizado, tanto no ensino como na indústria [4], e suporta um grande número de instruções MIPS, incluindo chamadas de sistema e operações de vírgula flutuante [5]. A ferramenta é boa para depurar programas MIPS em *assembly* e é razoavelmente intuitiva, mas simula somente a versão unicycle do CPU. Também não permite a visualização gráfica do caminho de dados nem possui um editor de código integrado.

O simulador MARS [4], desenvolvido em Java, é usado em disciplinas de arquitectura de computadores em muitas universidades por todo o mundo. Ele simula a execução de um programa MIPS em *assembly*, mostrando os resultados e os valores dos registos e memória no ecrã. A simulação pode ser executada passo-a-passo ou de uma só vez. O conjunto de instruções suportado inclui operações de vírgula flutuante, chamadas de sistema e várias pseudo-instruções. O MARS é também um IDE que inclui um editor com realce de sintaxe e muitos tópicos de ajuda. A ferramenta é bastante boa para simular e depurar programas MIPS em *assembly*. Contudo, apenas simula a versão unicycle do CPU e não mostra o caminho de dados graficamente. O MARS suporta *plugins*. Um destes é o MIPS X-Ray [6], que apresenta graficamente o caminho de dados unicycle do MIPS, assim como as ligações e componentes relevantes para as instruções. A execução destas é apresentada recorrendo a animações.

O ProcSim [7] é uma ferramenta desenvolvida em Java que simula o CPU unicycle MIPS R2000. O código *assembly* é executado e mostrado graficamente como uma animação no caminho de dados. A ferramenta inclui vários caminhos de dados diferentes e o utilizador pode criar outros. Um editor de código muito simples é também fornecido. O ProcSim fornece uma boa visualização do caminho de dados. Contudo, suporta um pequeno conjunto de instruções MIPS e somente um componente pode enviar mensagens ao mesmo tempo durante a simulação, apresentando as animações sequencialmente por componente, enquanto num processador real os componentes funcionam concorrentemente [8].

Para além disso, não suporta caminhos de dados *pipelined*.

O MIPS-Datapath [9], desenvolvido em C++, é um programa de código-fonte aberto que simula um conjunto de instruções MIPS e apresenta a execução graficamente no caminho de dados. Ele consegue simular não só um caminho de dados unicycle mas também a versão *pipelined*, com ou sem atalhos. As instruções são executadas passo-a-passo e as ligações relevantes para a instrução seleccionada são realçadas. Um editor de código muito simples é também fornecido. O MIPS-Datapath permite visualizar como cada instrução é executada pelo processador. Porém, ele suporta um conjunto de instruções muito limitado, não suporta protelamentos no *pipeline* e não permite que o caminho de dados seja configurado.

O WebMIPS [10] é um simulador educativo do MIPS que pode ser executado através de um navegador Web e, portanto, a partir de qualquer sistema, sem instalação. Foi escrito em ASP e simula um *pipeline* de cinco etapas com resolução de conflitos, tendo sido usado numa disciplina introdutória de arquitectura de computadores em Itália. A aplicação fornece um editor simples de código, podendo este ser executado passo-a-passo, mostrando também uma representação gráfica do caminho de dados. Apesar de ser um bom simulador educativo, tem algumas lacunas. A simulação da versão unicycle do MIPS não é possível e a representação gráfica do caminho de dados é estática, mostrando os dados nas entradas/saídas apenas após um clique.

O EduMIPS64 [11] é um simulador educativo que executa programas MIPS64. A ferramenta foi usada em alguns cursos de graduação para a avaliar e os resultados foram positivos, tanto em termos de percentagem de sucesso [12] como em termos de apreciação dos estudantes [13]. Este simulador foi baseado no WinMIPS64 [14] e no WinDLX e foi desenvolvido em Java. A ferramenta simula um CPU MIPS64 com 5 etapas de *pipeline*, suporta um número bastante razoável de instruções, incluindo operações em vírgula flutuante, chamadas de sistema e resolução de conflitos. A interface é intuitiva, mas nenhum editor de código é fornecido, não suporta a simulação do CPU unicycle e não possui uma representação detalhada do caminho de dados.

A Tabela I sumariza as ferramentas apresentadas. *PS* representa o ProcSim, *MD* representa o MIPS-Datapath, *WM* representa o WebMIPS e *EM* representa o EduMIPS64. Adicionalmente, *Parc.* significa que a ferramenta suporta a funcionalidade parcialmente e *Simpl.* significa, para a funcionalidade *Caminho dados gráf.*, que a ferramenta apresenta um diagrama de blocos muito simples. A tabela mostra que seria necessário utilizar mais do que uma ferramenta para cobrir os vários tópicos de arquitectura de computadores, o que seria pouco prático e intuitivo para estudantes e professores.

Para Android foi encontrado apenas um simulador do MIPS, o Assembly Emulator [15], sendo um simulador relativamente básico e que, durante a simulação, apenas apresenta as instruções que estão a ser executadas e os valores dos registos. Como tal, uma versão do simulador desenvolvido para *tablets* Android constitui um importante contributo, tendo em consideração que os *tablets* Android estão-se a tornar bastante populares [16], [17].

TABELA I
COMPARAÇÃO DAS FERRAMENTAS APRESENTADAS

	SPIM	MARS	PS	MD	WM	EM
Código aberto	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Editor de código	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Realce de sintaxe	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
Uniciclo	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não
<i>Pipeline</i>	Não	Não	Não	Parc.	Sim	Sim
Vírgula flutuante	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim
Chamadas de sistema	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim
Editar dados na execução	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim
Caminho dados gráf.	Não	Não	Sim	Sim	Parc.	Simpl.
Config. cam. dados	Não	Não	Sim	Não	Não	Não
Escrito em	C++,Qt	Java	Java	C++	ASP	Java

III. IMPLEMENTAÇÃO DO SIMULADOR

O simulador DrMIPS fornece várias versões de caminhos de dados do MIPS, baseados em [1], incluindo o caminho de dados uniciclo com algumas variantes simplificadas e o caminho de dados *pipelined*, com ou sem resolução de conflitos. Estes CPUs podem ser criados e configurados especificando num ficheiro as propriedades de todos os componentes e as

ligações entre eles. Além dos caminhos de dados, os respectivos conjuntos de instruções podem também ser configurados, e outros podem ser criados, especificando as propriedades dos diferentes tipos de instruções, instruções e pseudo-instruções e o que elas fazem. Operações de vírgula flutuante e chamadas de sistema não são actualmente suportadas.

O simulador foi implementado não só para PC mas também para dispositivos Android, especialmente *tablets*. Por essa razão, o simulador foi desenvolvido em Java. Isto tornou a adaptação de código da versão para PC para a versão Android e vice-versa fácil, visto o Android também usar Java, e torna também a versão para PC compatível com a maioria dos sistemas operativos sem esforço adicional. A interface gráfica suporta também múltiplos idiomas. De momento, apenas Português e Inglês estão disponíveis. Quanto ao ambiente de desenvolvimento, para a versão para PC foi escolhido o Netbeans, uma vez que facilita a criação de interfaces gráficas; já para a versão para Android foi escolhido o Eclipse, visto ser o recomendado pela Google [18].

Para facilitar o desenvolvimento de ambas as versões, o código foi dividido em duas partes: a lógica de simulação e a interface gráfica. Com esta divisão, apenas a interface gráfica depende da plataforma (PC ou Android), enquanto a lógica de simulação é exactamente a mesma em ambas. A Fig. 1 mostra um diagrama de classes UML do simulador simplificado.

O código da lógica de simulação corresponde ao pacote *simulator*, enquanto o código da interface gráfica corresponde ao pacote *gui*. O pacote *simulator* é composto por vários sub-pacotes, nomeadamente:

- *mips*: contém o simulador do MIPS;
- *mips.components*: pacote interno que define todos os tipos de componentes;
- *util*: contém algumas classes utilitárias;
- *exceptions*: contém as classes de excepções.

O resto desta secção expõe os detalhes da implementação da lógica de simulação, enquanto a secção IV apresenta os detalhes das interfaces gráficas de ambas as versões.

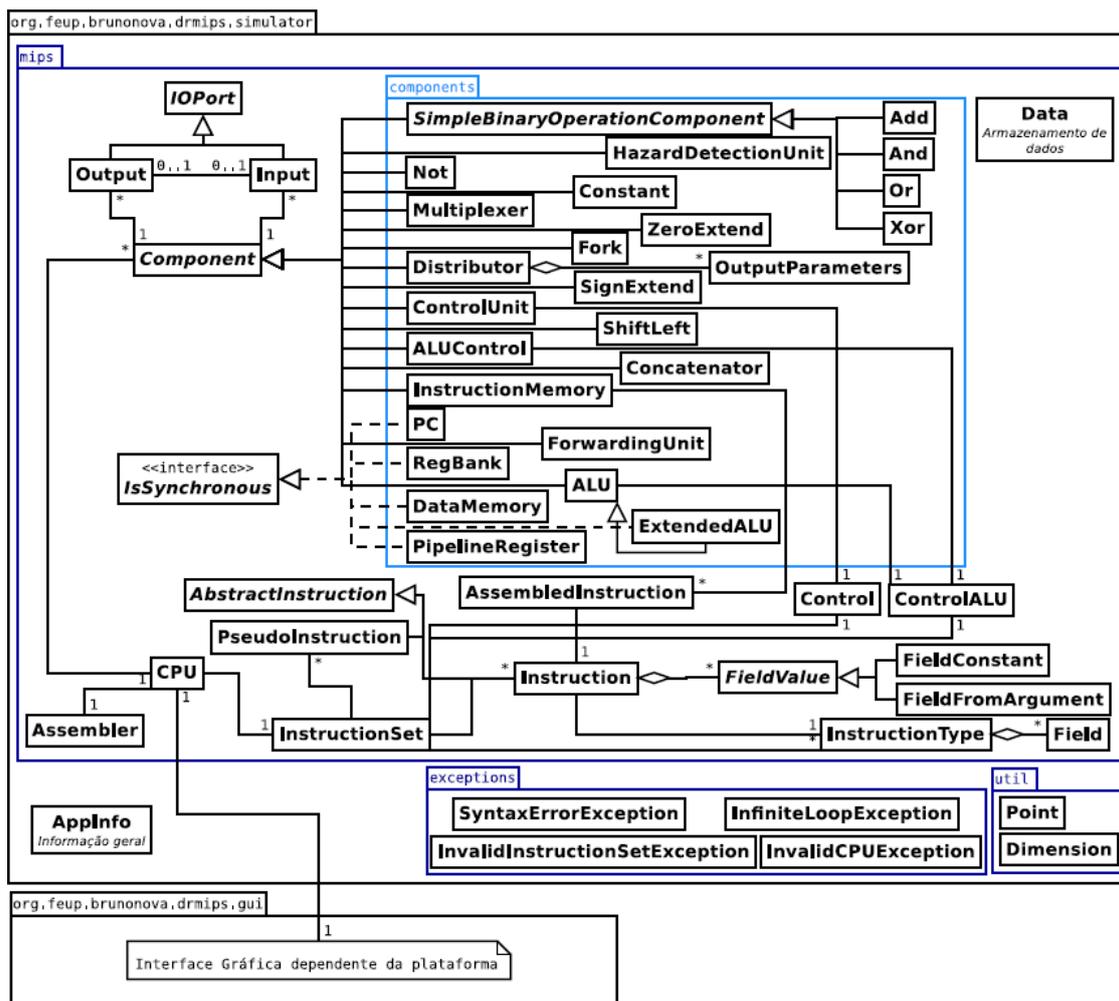


Fig. 1. Diagrama de classes UML do simulador

A. Definição do CPU

Cada CPU é definido num ficheiro JSON. JSON é um formato que pode ser analisado facilmente em Java e em Android. É também fácil de ser lido/escrito pelo utilizador e resulta em ficheiros mais pequenos do que outros formatos como XML. Um ficheiro CPU lista os componentes e suas propriedades, as ligações entre eles, o nome de cada registo e o conjunto de instruções usado (descrito na subsecção seguinte)

No código, como mostrado na Fig. 1, a classe CPU é a parte central do simulador. Ela permite o acesso a todos os seus componentes, ao conjunto de instruções e ao *assembler*, e é a “interface” que a interface gráfica usa para gerar o código máquina a partir do código fonte, executar instruções, obter valores e latências, etc. É também onde os ficheiros JSON do CPU são carregados e interpretados.

Um CPU é composto por vários componentes. A classe *Component* é a classe base para todos os componentes. Cada componente é derivado desta classe, tendo de definir as suas propriedades e implementar *execute()*, onde o seu comportamento é definido, usando os valores nas entradas para definir os valores correctos nas saídas. Um componente tem entradas e saídas, definidas respectivamente por *Input* e *Output*. Cada saída está ligada a uma entrada de outro componente. Portanto, o CPU é representado por um grafo.

Alguns dos componentes são síncronos, como o contador do programa e o banco de registos, por exemplo. Estes componentes têm um estado interno que apenas pode ser alterado durante a transição do sinal de relógio. Em termos de código, estes componentes implementam a interface *IsSynchronous*, tendo depois de implementar o método *executeSynchronous()*, em que é definido o comportamento síncrono que altera o

seu estado interno. Adicionalmente, para permitir que o utilizador volte atrás durante a execução, os estados internos são guardados em cada ciclo de relógio numa pilha, e alguns métodos adicionais para guardar e restaurar estes estados foram implementados.

Durante a execução de código, cada ciclo de relógio começa pela execução dos comportamentos síncronos dos componentes, prosseguindo depois para a execução dos comportamentos “normais” dos componentes. Durante este processo, os valores nas saídas são actualizados. Quando isto acontece, os novos valores nas saídas são propagados para as entradas ligadas a si, as quais executam o comportamento “normal” dos respectivos componentes, prosseguindo a propagação de dados. Isto acontece apenas quando o novo valor é diferente do anterior, de forma a evitar ciclos infinitos que resultariam desta solução. Isto significa também que o comportamento síncrono dos componentes não pode causar qualquer propagação de dados.

Relativamente ao desempenho do processador, ele também é determinado usando propagação. Cada componente tem a sua latência individual de funcionamento e uma latência acumulada, que é o tempo decorrido desde o início do ciclo até o componente gerar as saídas correctas. As entradas também guardam a latência acumulada. O cálculo das latências acumuladas tem início nos componentes síncronos, sendo propagadas até às entradas que são usadas apenas pelos comportamentos síncronos (como a entrada `WriteData` do banco de registos). O caminho crítico é, posteriormente, calculado para trás a partir da entrada ou entradas com a maior latência acumulada. O simulador também é capaz de determinar o caminho crítico de uma instrução em execução. Neste caso, os sinais de controlo nas entradas de alguns componentes, como multiplexadores e memória de dados, são usados para determinar quais as entradas e os componentes que são irrelevantes para a instrução actual e que por isso não devem entrar no caminho crítico.

Em relação à versão *pipelined* do CPU MIPS, ela tem de ter exactamente cinco etapas e, portando, quatro registos a separá-las. Estes registos, mais o contador do programa, são usados para determinar quais as instruções que se

encontram em cada etapa do *pipeline*, verificando também os seus sinais de controlo `Write` e `Flush`. Isto é necessário devido aos conflitos que podem ocorrer. Tanto uma unidade de detecção de conflitos como uma unidade de atalhos foram implementadas, e os seus comportamentos foram baseados em [1].

Em cada ciclo de relógio, cada ligação pode ser marcada como “irrelevante” (a cinza na interface gráfica) ou relevante. Esta decisão é baseada apenas nos valores nas ligações e componentes, e não na instrução. Seria bastante difícil de determinar as ligações e componentes relevantes para cada instrução quando o CPU e até o conjunto de instruções são muito genéricos e configuráveis. Assim, as condições para marcar uma ligação como irrelevante são muito simples: a ligação transporta 1 bit com o valor zero, um protelamento está a ocorrer, a ligação não é seleccionada por um multiplexador, etc.

B. Definição do Conjunto de Instruções

Tal como o CPU, cada conjunto de instruções é definido num ficheiro JSON. Um ficheiro de instruções lista os tipos de instruções, as instruções, as pseudo-instruções e suas propriedades, e também especifica como a unidade de controlo, a ALU e o controlador da ALU funcionam.

A classe principal que define o conjunto de instruções é `InstructionSet` e é acessível através do CPU (Fig. 1). Esta classe carrega e interpreta o conjunto de instruções do ficheiro especificado no ficheiro CPU, e fornece acesso a todos os tipos de instruções, instruções, pseudo-instruções e definições de controlo.

Um conjunto de instruções tem várias instruções diferentes. No caso do MIPS, que é uma arquitectura `Reduced Instruction Set Computer` (RISC), todas as instruções têm o mesmo tamanho. Cada instrução pertence a um tipo e, para o MIPS, isso significa R, I ou J. Os 32 bits que compõem o código da instrução são divididos em campos. Os campos são diferentes para cada tipo, excepto o campo `opcode`, que é comum e formado pelos 6 bits mais significativos. `InstructionType` é a classe que representa essa informação.

O caminho de dados implementado mais completo suporta as seguintes instruções: `nop`,

add, sub, and, or, slt, addi, lw, sw, beq, j, nor, xor, mult, div, mfhi e mflo. Este caminho de dados inclui também as seguintes pseudo-instruções: li, la, move, subi, sgt, neg, bge, ble, b, not, mul e rem.

As instruções e as pseudo-instruções são representadas pelas classes `Instruction` e `PseudoInstruction`, respectivamente. Cada instrução pertence a um tipo, tem uma mnemónica e define o número e tipo de argumentos, os valores de cada campo (que podem vir de um argumento) e uma descrição simbólica que pode ser vista pelo utilizador. Cada pseudo-instrução tem uma mnemónica e define o número e tipo de argumentos, as instruções na qual é convertida durante a geração do código máquina e uma descrição simbólica. No simulador desenvolvido, cada mnemónica pode pertencer apenas a uma instrução ou a uma pseudo-instrução.

Um conjunto de instruções tem também de definir o que as instruções fazem. Isto é definido pelas classes `Control` e `ControlALU`. A classe `Control` controla o comportamento da unidade de controlo, e contém a informação necessária para produzir os valores dos sinais de controlo para cada opcode. A classe `ControlALU` controla o comportamento da ALU e do controlador da ALU. Esta classe contém a informação necessária para o controlador da ALU produzir as saídas para cada combinação de `ALUOp` e campo `func` da instrução, e também a correspondência entre cada possível valor na entrada de controlo da ALU e a respectiva operação.

C. O Assembler

O *assembler* é representado pela classe `Assembler`, e é acessível através do CPU, como representado na Fig. 1. Para o código máquina ser gerado a partir do código fonte, a interface gráfica usa o `Assembler` do CPU para interpretar o código, consultando o `InstructionSet` do CPU e convertendo as instruções e pseudo-instruções no segmento de texto em instruções máquina, representadas pela classe `AssembledInstruction`, sendo depois carregadas na memória de instruções do CPU. O processo envolve também a interpretação do segmento de dados para inicializar a memória de dados do CPU com os valores pretendidos.

O código introduzido pelo utilizador pode conter erros, devendo ser identificados e mostrados ao utilizador. Quando um erro é encontrado numa instrução, o *assembler* lança uma excepção. Contudo, em vez de parar o processo, a excepção é capturada e adicionada a uma lista de excepções, prosseguindo na instrução seguinte. Com esta técnica, todos os erros presentes no código podem ser mostrados ao utilizador. Todavia, apenas um erro pode ser mostrado por linha.

A implementação do *assembler* é bastante simples, e o processo de geração é feito em dois passos:

1. O *assembler* interpreta o segmento de dados e carrega os valores para a memória de dados. Ao mesmo tempo, as etiquetas são identificadas e as pseudo-instruções são convertidas em instruções no segmento de texto;
2. Todas as instruções são convertidas em instâncias de `AssembledInstruction` equivalentes, sendo depois carregadas para a memória de instruções do CPU.

Em termos de directivas de compilação, quatro directivas são actualmente suportadas:

- `.data`: inicia o segmento de dados, onde a memória de dados é inicializada;
- `.text`: inicia o segmento de texto, onde o código é definido;
- `.word`: declara um ou mais valores a serem armazenados na memória de dados como palavras de 32 bits;
- `.space`: reserva espaço (em bytes) na memória de dados.

IV. IMPLEMENTAÇÃO DA INTERFACE

Esta secção descreve detalhes sobre a implementação das interfaces gráficas para computador e para dispositivos Android. O código da interface gráfica está definido no pacote `gui` (Fig. 1), e é o único pacote que difere entre as versões para PC e Android.

A. Versão para PC

A versão para PC é a mais completa. Por omissão, a interface é apresentada com um tema claro e com os seus conteúdos divididos em cinco separadores, como mostrado na Fig. 2. A janela está dividida horizontalmente em duas partes, permitindo que dois separadores sejam mostrados ao mesmo tempo. Adicionalmente, o utilizador pode mover qualquer separador de um lado para o outro se clicar no título do mesmo e seleccionar a única opção disponível no menu de contexto. Para além disso, o utilizador pode escolher usar um tema escuro, e pode também escolher usar janelas internas em vez de separadores, como mostrado na Fig. 3. Janelas internas são úteis em ecrãs maiores, e as suas posições e tamanhos são recordados ao sair. A interface suporta múltiplos idiomas, Português e Inglês na versão actual, que podem ser escolhidos nos menus.

Os vários separadores ou janelas são:

- Código: contém o editor de código;
- Assemblado: mostra as instruções máquina;
- Caminho de dados: mostra o caminho de dados e as instruções sendo executadas;
- Registos: lista os registos e respectivos valores;
- Memória de dados: mostra os valores na memória de dados.

O DrMIPS fornece um editor de código com realce de sintaxe, conclusão automática de palavras, procurar/substituir, numeração de linhas, desfazer e refazer graças ao componente *RSyntaxTextArea* e à biblioteca *AutoComplete*[19]. As regras de realce de sintaxe e de conclusão de palavras não são “estáticas” e dependem do CPU em uso. Todos os erros presentes no código são indicados ao lado dos números das linhas quando o código fonte é interpretado.

A tabela do código máquina mostra as instruções máquina resultantes e realça a instrução ou instruções a serem executadas pelo CPU. Ao passar o cursor do rato sobre cada instrução o tipo da instrução e os valores dos seus campos são exibidos, como exemplificado na Fig. 3. As tabelas dos registos e memória de dados mostram os respectivos valores, mas também realçam os registos ou endereços acedidos. Os registos e os valores na memória de dados podem ser alterados com um duplo clique sobre os mesmos na

respectiva tabela. Todos estes valores podem ser mostrados nos formatos decimal, binário e hexadecimal.

O caminho de dados é a parte mais importante do simulador. Todos os componentes são apresentados como rectângulos e representados internamente por *JPanel*'s. O nome, descrição, valores/latências nas entradas e saídas dos componentes são mostrados numa dica quando o utilizador passa o cursor do rato sobre eles, como mostrado na Fig. 2. As ligações são desenhadas no fundo do caminho de dados e têm cores diferentes quando são irrelevantes ou pertencem ao caminho de controlo. Algumas das entradas e saídas dos componentes apresentam uma pequena dica permanente com o seu valor actual. Essa dica de dados é sempre posicionada abaixo da entrada ou saída e é representada por uma etiqueta do tipo *JLabel*. O caminho de dados é um *JLayeredPane* para permitir que as dicas de dados estejam sempre no topo. O utilizador pode ocultar o caminho de controlo, as dicas de dados e as setas nas ligações, se assim o desejar.

Por opção, a representação do caminho de dados foi a de menor tamanho possível, mas garantindo a sua leitura sem dificuldade. Desta forma, uma maior parte do caminho de dados, ou mesmo a totalidade, estará visível. Por esta razão, algumas informações, como os nomes das entradas e saídas, têm de ser omitidas.

O caminho de dados pode também ser apresentado num “modo de desempenho”. Neste modo, as ligações que pertencem ao caminho crítico são mostradas a vermelho, as dicas de dados são omitidas e as dicas dos componentes apresentam as suas latências e latências acumuladas. Além disso, um duplo clique no componente, neste modo, permite ao utilizador editar a latência do mesmo. O novo valor não é guardado no ficheiro do CPU, nele permanecendo o valor por omissão.

A instrução ou instruções sendo executadas são apresentadas acima do caminho de dados numa tabela com uma única linha e sem cabeçalho. Usar uma tabela deste modo significa que as colunas provavelmente não estarão alinhadas com os respectivos registos de *pipelined*, mas isso também significa que as colunas estarão sempre visíveis mesmo que o caminho de dados não esteja

completamente visível no ecrã, como pode ser visto na Fig. 2.

Finalmente, o utilizador pode consultar algumas estatísticas sobre a simulação. Estas

incluem o período e a frequência de relógio, Ciclos Por Instrução (CPI) e número de atalhos e protelamentos ocorridos. A versão para PC inclui também manuais de utilizador e de configuração.

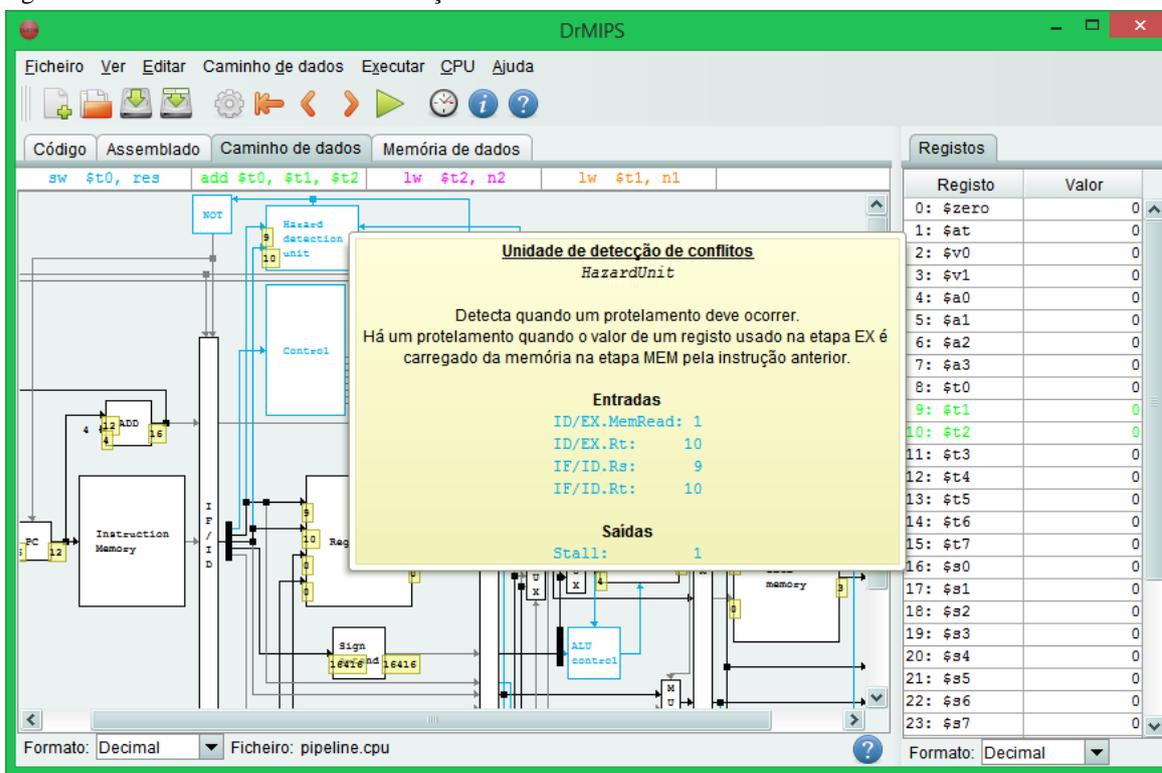


Fig. 2. Interface para PC com as opções por omissão, com a dica de um componente a ser mostrada

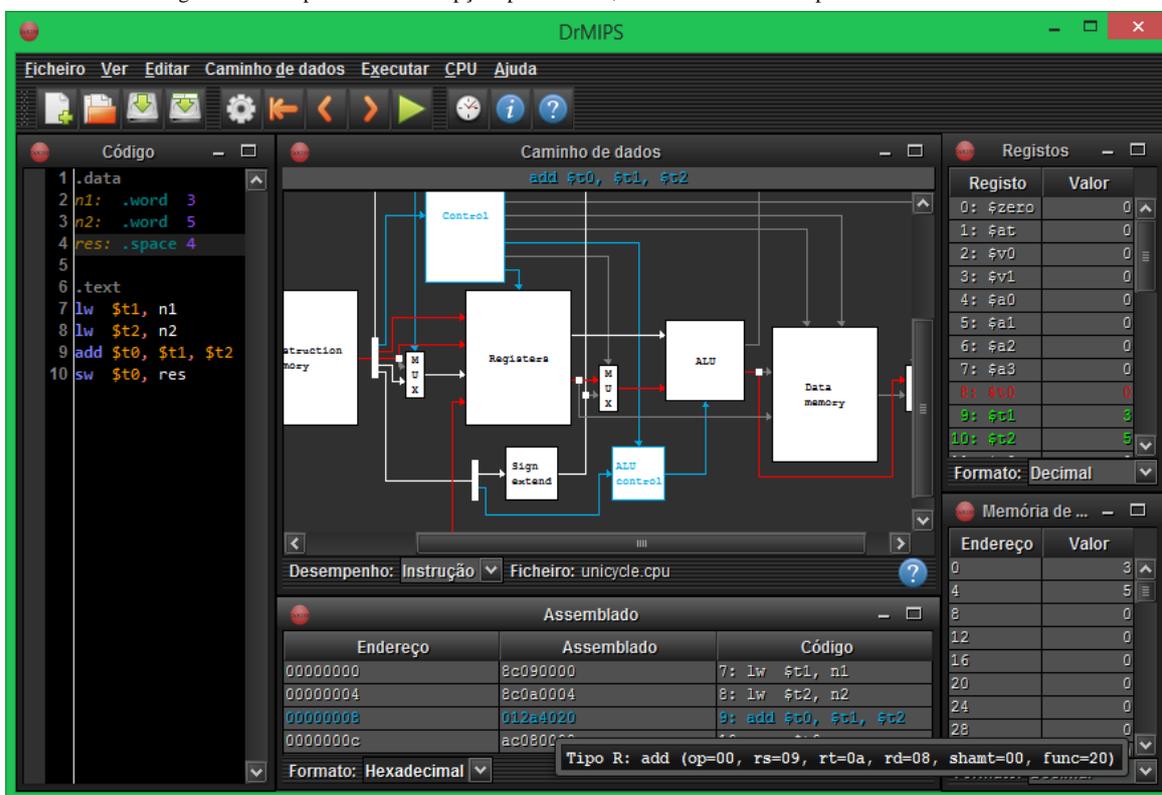


Fig. 3. Interface para PC usando janelas internas e o tema escuro no “modo de desempenho”

B. Versão para Android

A versão para Android é semelhante à versão para PC. Tal como nesta, a aplicação usa por omissão um tema claro, mas um tema escuro está igualmente disponível. A Fig. 4 ilustra a aplicação em execução num *tablet* com Android 4.0.3 usando o tema claro, enquanto a Fig. 5 mostra-a num telemóvel com Android 4.1.2 usando o tema escuro.

A aplicação contém apenas uma actividade e os seus conteúdos são divididos em separadores usando um `TabHost`. Os conteúdos dos vários separadores são definidos em ficheiros de *layout* diferentes, os quais são incluídos no *layout* da actividade sem usar os novos “fragmentos” do Android. A aplicação suporta mudanças de orientação do ecrã sem a perda do seu estado. Actualmente, a aplicação pode ser apresentada em Português ou em Inglês.

O editor de código desta versão é um simples componente do tipo `EditText`. Para além disso, devido ao facto de os programas em *assemblyMIPS* utilizarem o cifrão (§) para referenciar registos,

usar o teclado no ecrã por omissão do Android poderá ser incómodo, visto que o cifrão não se encontra normalmente na sua primeira página. Porém, existem outros teclados disponíveis para Android que podem ser instalados e utilizados, sendo também possível conectar um teclado físico ao dispositivo, o que facilita a escrita de código.

As tabelas com o código máquina, registos e memória de dados são parecidas com as da versão para PC. Contudo, para ver a “dica” de uma instrução no código máquina, o utilizador tem de tocar na instrução em vez de passar o “cursor” sobre a mesma, visto os dispositivos móveis normalmente não disporem de um cursor ou rato. Adicionalmente, para alterar um registo ou um valor na memória de dados, o utilizador tem de tocar e manter pressionado o mesmo na tabela em vez de realizar um duplo clique. Este comportamento é usado noutras partes da interface.

O caminho de dados é mostrado da mesma forma que na versão para PC. É usada uma disposição do tipo `RelativeLayout` para apresentar os componentes nas posições e

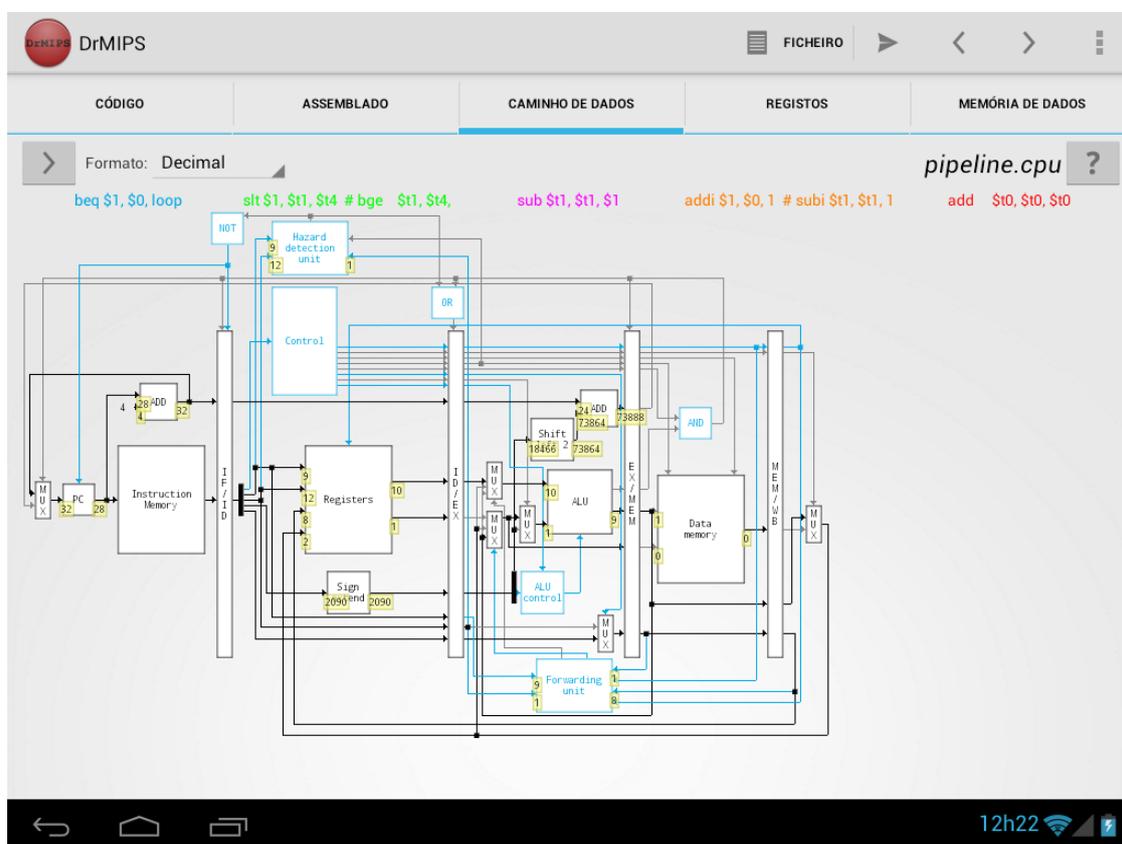


Fig. 4. Interface para Android usando o tema claro num *tablet*

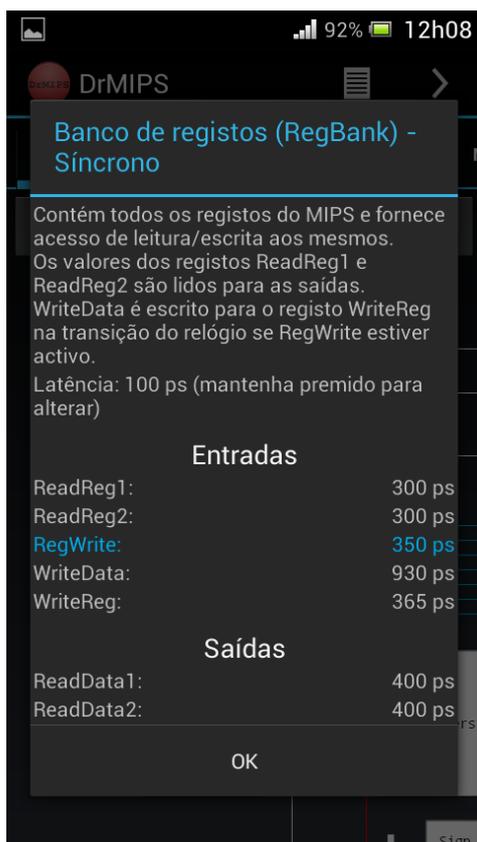


Fig. 5. Interface para Android usando o tema escuro num telemóvel, mostrando os detalhes de um componente no “modo de desempenho”

tamanhos especificados, todos medidos usando *pixels* independentes da densidade, que é uma unidade que permite que os componentes gráficos tenham aproximadamente o mesmo tamanho real em todos os dispositivos. Cada componente é do tipo `TextView` e o seu nome, descrição e valores/latências nas entradas e saídas podem ser vistos ao tocar no componente, como mostrado na Fig. 5. Mantendo o componente premido no modo de desempenho permite ao utilizador alterar a sua latência. As dicas de dados são também mostradas da mesma maneira que na versão para PC e, como são os últimos componentes da interface gráfica adicionados, são sempre mostradas no topo.

Os ficheiros de CPU, de instruções e de código são armazenados no directório de dados da aplicação, preferencialmente na memória externa. Esta memória, normalmente montada em `/mnt/sdcard`, é na verdade, em muitos dispositivos, uma partição da memória interna do dispositivo e não o cartão de memória externo. Mas, caso seja e não esteja disponível, a aplicação armazenará os ficheiros no directório privado da aplicação na memória interna do dispositivo. Armazenar os ficheiros na memória externa

permite que o utilizador tenha acesso aos mesmos utilizando outra aplicação, como um explorador de ficheiros. Para saber o caminho para o ficheiro de CPU ou de código actualmente usado, o utilizador pode tocar no nome do ficheiro na interface gráfica.

V. CONCLUSÕES

Uma ferramenta para apoiar estudantes e professores no ensino e aprendizagem de arquitectura de computadores foi apresentada. Esta ferramenta, um simulador do MIPS, é versátil, intuitiva, configurável e agrega várias funcionalidades que se encontram dispersas por várias ferramentas existentes. Ambas as versões, uniciclo e *pipelined*, do CPU são suportadas, o caminho de dados é apresentado graficamente e um “modo de desempenho” está disponível. Esta ferramenta, o DrMIPS, está também disponível para Android, sendo esta uma inovação que a distingue de outras ferramentas semelhantes.

O DrMIPS está actualmente a ser utilizado na unidade curricular de Arquitectura e Organização de Computadores na FEUP [20]. O simulador é um programa gratuito, livre e de código fonte aberto. Pode ser descarregado de [21], e também se encontra disponível nos repositórios oficiais de duas distribuições de Linux, Debian e Ubuntu.

REFERÊNCIAS

- [1] D. A. Patterson e J. L. Hennessy, “Computer Organization and Design - The Hardware/Software Interface”, 3rd ed. Morgan Kaufmann, 2005.
- [2] J. L. S. C. Pereira, “Educational package based on the MIPS architecture for FPGA platforms”, Master Thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Junho 2009, acessado em 19 de Novembro de 2014, <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59975/1/000135086.pdf>.
- [3] J. Larus, “SPIM: A MIPS32 Simulator”, acessado em 19 de Novembro de 2014, <http://spimsimulator.sourceforge.net>.
- [4] D. K. Vollmar e D. P. Sanderson, “MARS: An Education-Oriented MIPS Assembly Language Simulator”, Março 2006, acessado em 19 de Novembro de 2014, <http://www.cs.missouristate.edu/~vollmar/MARS/fp288-vollmar.pdf>.
- [5] J. Larus, “SPIM S20: A MIPS R2000 Simulator”, Computer Sciences Department, University of Wisconsin, Tech. Rep., 1990, acessado em 19 de Novembro de 2014, <http://phoenix.goucher.edu/~kelliher/f2005/cs220/s pim.pdf>.

- [6] G. C. R. Sales, M. R. D. Araújo, F. L. C. Pádua, e F. L. C. Júnior, “MIPS X-Ray: A Plug-in to MARS Simulator for Datapath Visualization”, 2010.
- [7] J. Garton, “ProcessorSim - A Visual MIPS R2000 Processor Simulator”, 2005, acessado em 19 de Novembro de 2014, <http://jamesgart.com/procsim>.
- [8] H. Sarjoughian, Y. Chen, e K. Burger, “A Component-based Visual Simulator for MIPS32 Processors”, 38th Frontiers in Education Conference, pp. F3B-9 - F3B-14, Outubro 2008.
- [9] A. Gascoyne-Cecil, “MIPS-Datapath”, acessado em 19 de Novembro de 2014, <http://mi.eng.cam.ac.uk/~ahg/MIPS-Datapath>.
- [10] I. Branovic, R. Giorgi, e E. Martinelli, “WebMIPS: A New Web-Based MIPS Simulation Environment for Computer Architecture Education”, Workshop on Computer Architecture Education, 31st International Symposium on Computer Architecture, 2004, acessado em 19 de Novembro de 2014, <http://www4.ncsu.edu/~efg/wcae/2004/submissions/giorgi.pdf>.
- [11] T. E. Team, “EduMIPS64”, acessado em 19 de Novembro de 2014, <http://www.edumips.org>.
- [12] D. Patti, A. Spadaccini, M. Palesi, F. Fazzino, e V. Catania, “Supporting Undergraduate Computer Architecture Students Using a Visual MIPS64 CPU Simulator”, IEEE Transactions on Education, vol. 55, no. 3, pp. 406 - 411, Agosto 2012, acessado em 19 de Novembro de 2014.
- [13] “EduMIPS64 Students Questionnaire”, acessado em 19 de Novembro de 2014, <http://www.diiit.unict.it/users/spadaccini/edumips64-survey.html>.
- [14] M. Scott, “WinMIPS64”, Abril 2012, acessado em 19 de Novembro de 2014, <http://indigo.ie/~mscott>.
- [15] Jimmat, “Assembly Emulator - Android Apps on Google Play”, Maio 2013, acessado em 18 de Novembro de 2014, <http://play.google.com/store/apps/details?id=gr.ntu.a.ece.assembly.emulator>.
- [16] M. Butler, “Android: Changing the Mobile Landscape”, IEEE Pervasive Computing, vol. 10, no. 1, pp. 4 - 7, Janeiro-Março 2011.
- [17] R. Shim, “Tablets Impact the Notebook Market: Enter the Ultrabook”, Information Display, vol. 28, no. 2 and 3, pp. 12 - 14, Fevereiro/Março 2012, acessado em 19 de Novembro de 2014, http://informationdisplay.org/Portals/InformationDisplay/IssuePDF/03_2012.pdf#page=14.
- [18] Google, “Android SDK | Android Developers”, acessado em 27 de Novembro de 2014, <http://developer.android.com/sdk/index.html>.
- [19] Fifesoft, “RSyntaxTextArea - Fifesoft”, 2013, acessado em 19 de Novembro de 2014, <http://fifesoft.com/rsyntaxtextarea>.
- [20] Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, “FEUP - Arquitectura e Organização de Computadores”, 2014, acessado em 27 de Novembro de 2014, http://sigarra.up.pt/feup/pt/ucurr_geral.ficha_uc_view?pv_ocorrencia_id=350484.
- [21] B. Nova, “DrMIPS Wiki - Bitbucket”, Novembro 2014, <https://bitbucket.org/brunonova/drmps>.

AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de agradecer ao Departamento de Engenharia Informática da FEUP e aos professores António Araújo e João Canas Ferreira do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores pela orientação e conselhos dados, e também por propor este trabalho.



2013.

Bruno Nova nasceu no Porto, Portugal, em 1990, e concluiu um Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em 2013. É o autor da Dissertação de Mestrado intitulada *Tool to Support Computer Architecture Teaching and Learning*, e de um artigo com o mesmo nome apresentado na conferência CISPEE



aritmética em vírgula flutuante (operadores e funções matemáticas elementares) ao nível dos algoritmos, arquitecturas, metodologias de projecto e implementação em *hardware* dedicado, e desenvolvimento de arquitecturas e sistemas digitais reconfiguráveis para aplicações específicas. É membro da Ordem dos Engenheiros (Portugal).

António Araújo obteve o grau de Doutor em Engenharia Electrotécnica e de Computadores na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, em 2003. É Professor Auxiliar no Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto desde 2003. Os seus principais interesses de investigação incluem



reconfiguráveis dinamicamente (em FPGA), arquitecturas de sistemas digitais dedicados de alto desempenho, e ferramentas de apoio ao projecto de sistemas digitais. É membro da Ordem dos Engenheiros (Portugal), do IEEE e da ACM.

João C. Ferreira obteve o grau de Doutor em Engenharia Electrotécnica e de Computadores (Universidade do Porto) em 2001. Actualmente é Professor Auxiliar no Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. As suas actividades de investigação abrangem os sistemas embarcados

Capítulo 3

O ensino da álgebra linear em Portugal: padrões no uso da tecnologia em cursos de engenharia

Ricardo Gonçalves

Instituto Politécnico do Cávado e do Ave
Barcelos, Portugal
rgoncalves@ipca.pt

Cecília Costa

CIDTFF-Lab-DCT, Universidade de Aveiro, Aveiro,
Portugal
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, UTAD,
Quinta de Prados, 5000-801 Vila Real, Portugal,
www.utad.pt
mcosta@utad.pt

Title– Teaching linear algebra in Portugal: patterns in the use of technology in engineering courses

Abstract– This article reports the use of technology in teaching linear algebra by Portuguese lecturers in engineering courses. Once known the recommendations and potentialities highlighted in literature on teaching linear algebra, the aim of this study is to assess whether the use of technology is embodied in linear algebra classroom and, if so, in what form. We performed the study with lecturers that have taught linear algebra courses in the same school year through the application of a questionnaire. By the descriptive analysis of the results, we identify four patterns in the teaching of linear algebra in Portugal in terms of use of technology.

Keywords– teaching mathematics; linear algebra, teaching practices, technology, computer.

Resumo– Este artigo reporta ao uso da tecnologia no ensino da álgebra linear pelos docentes que lecionam em cursos de engenharia nas instituições portuguesas. Dadas as recomendações e potencialidades do uso da tecnologia assinaladas pelos investigadores em didática da álgebra linear, o objetivo do estudo é aferir se o uso da tecnologia é materializado nas aulas de álgebra linear e, caso afirmativo, em que moldes. A recolha de dados realizou-se sob a forma de aplicação de um questionário, dirigido aos docentes que lecionaram a unidade curricular álgebra linear ou similar num determinado ano letivo. A análise descritiva dos resultados conduziu à identificação de padrões no ensino da álgebra linear em Portugal à luz do indicador *uso da tecnologia*.

Palavras chave– didática da matemática; álgebra linear; práticas de ensino; tecnologia; computador.

I. INTRODUÇÃO

No âmbito da álgebra linear, uma das primeiras preocupações didáticas surgiu na década de noventa nos Estados Unidos da América, com a constituição de um grupo de trabalho denominado Linear Algebra Curriculum Study Group

Este trabalho é financiado pela FCT/MEC através de fundos nacionais (PIDDAC) e cofinanciado pelo FEDER através do COMPETE – Programa Operacional Fatores de Competitividade no âmbito do projeto PEst-C/CED/UI0194/2013.

(LACSG). O móbil emergiu das recorrentes dificuldades que os professores observavam nos seus alunos quando ensinavam tópicos de álgebra linear, a par da necessidade de aproximação, cada vez mais atual, da álgebra linear à engenharia, ciências da computação, economia e estatística e do desenvolvimento dos computadores [1-2]. Um dos eixos em que se baseou a discussão e do qual resultou como recomendação para o ensino da álgebra linear foi o uso da tecnologia, sobretudo do computador. Esta proposta assentou na convicção de que o uso de computadores por parte dos alunos em projetos e na resolução de exercícios (também fora da aula) reforçava os conceitos aprendidos, contribuía para a descoberta de novos conceitos e tornava possível a resolução de problemas aplicados em contexto real [1-2].

Investigações seguintes apontaram para a possibilidade de integração de programas de geometria dinâmica e dos designados *computer algebra systems* (CAS) – *software* de computação simbólica – nas aulas de álgebra linear. Algumas propostas para a exploração de conteúdos e conceitos de álgebra linear, segundo ambientes eletrónicos, foram sugeridas pelos investigadores.

O programa de geometria dinâmica Cabri aparece associado principalmente às transformações lineares, como em [3-5], acreditando-se no seu potencial para a compreensão geométrica e conceptual do conceito. O uso deste programa é proposto para a observação e dedução de propriedades, dado o carácter facilitador de obtenção dos transformados em comparação com a via “papel e lápis”. Esta aprendizagem de carácter cinestésico tende a envolver e a motivar os alunos [4], mas a ênfase no raciocínio sobre os conceitos em termos das representações visuais, em detrimento das próprias definições, pode tornar-se um obstáculo à compreensão [3] e reduzir o pensamento teórico [5].

O recurso ao CAS Maple aparece em [6], associado a um novo método para o ensino dos sistemas de equações lineares e à investigação baseada nas suas múltiplas representações, nomeadamente, representação algébrica, representação gráfica e representação *data-based*. Uma vez identificado o problema da dificuldade de alunos interpretarem a solução obtida por meio da aplicação do método de eliminação de Gauss, a proposta considerou a transição recíproca entre esta representação

algébrica e as outras representações, possibilitadas e agilizadas pelo uso do programa.

Ainda sobre o item das múltiplas representações dos conceitos, e no caso dos sistemas de equações lineares, em [7] é utilizado um CAS semelhante ao Maple – o MuPAD – para a apresentação de uma possível representação visual dos passos do algoritmo de Gauss. Também relacionado com os sistemas de equações lineares, aparece em [8] a sugestão para uma aprendizagem mais interativa, com recurso a “*applet's*” e a calculadoras *online*.

Outra dimensão associada à consideração do uso da tecnologia no ensino da álgebra linear reporta à elaboração de materiais pedagógicos. O projeto ATLAST – Augment the Teaching of Linear Algebra through the use of Software Tools – decorreu entre os anos de 1992 e 1997 e surgiu com o objetivo de se encorajar e facilitar o uso de *software* no ensino da álgebra linear. Como produtos, criaram-se exercícios computacionais e planos de aula adstritos ao uso dos CAS Matlab, Maple e Mathematica.

O recurso à tecnologia também se repercutiu nos livros subsequentes de álgebra linear. Alguns desses livros, com parte dos autores a terem participado nos projetos anteriormente referidos (LACSG e ATLAST), passaram a incluir secções alusivas a “*technology exercises*” [9], “*Matlab problems*” [10] ou exercícios para serem resolvidos com um “*matrix program*” [11], por exemplo.

É reconhecido o estatuto dos ambientes eletrónicos no apoio ao ensino e aprendizagem da álgebra linear [12], justificando-se que pertençam ao *cluster* onde já se incluíam as lições, os textos e os exercícios de “papel e lápis”. Adequa-se a sua utilização como calculadores matriciais, para a computação de problemas de aplicação significativos, para a visualização, e para proporcionar um ambiente de exploração ativa das estruturas matemáticas, entre outros [13]. Mais concretamente, assinalado pelos investigadores, os CAS são relevantes para a manipulação de matrizes e resolução de sistemas de equações lineares [12], enquanto os programas de geometria dinâmica permitem o “contacto” com os objetos de teorias mais abstratas [3], como os espaços vectoriais e transformações lineares, quando confinados a espaços de dimensão não superior a 3.

No presente estudo enfatizamos, como problema de investigação, a caracterização do estado atual do ensino da álgebra linear, em Portugal, em proximidade com os resultados decorrentes da investigação na área. Este estudo enquadra-se num projeto de maior escala, onde se procurou estabelecer uma relação entre um conjunto de indicadores representativos das sugestões dos investigadores e as práticas de ensino da álgebra linear em Portugal. Aqui, a nossa atenção recai num único indicador: o *uso da tecnologia*. A problemática emergiu da tentativa de desmistificar um possível estereótipo do atual estado do ensino da álgebra linear em Portugal: que se ensina como se aprendeu, onde os antigos professores são os modelos e as suas práticas, o padrão; que a informação necessária é recolhida num conjunto de obras conhecidas, mais ou menos transversal à maioria dos professores; que a elaboração de eventuais textos resulta de súmulas das referidas obras; e, finalmente, que a reflexão sobre a prática é de senso comum, querendo significar que o professor faz pequenos ajustes metodológicos a partir da experiência e da vivência no espaço sala de aula.

Entrando na realidade da prática dos docentes, este estudo tem como objetivo aferir se o uso da tecnologia, sobretudo do computador, é materializado nas aulas de álgebra linear. Para tal, colocamos a seguinte questão de investigação: qual ou quais os padrões no ensino da álgebra linear em cursos de engenharia, nas instituições portuguesas, atendendo ao uso da tecnologia?

Nas secções seguintes apresentamos a investigação empírica e o instrumento de recolha de dados utilizado, procedemos à análise descritiva dos resultados, procuramos responder à questão de investigação colocada e indicamos algumas conclusões.

II. INVESTIGAÇÃO EMPÍRICA

A. Descrição do estudo

No projeto maior, citado na secção anterior, parte dos dados foram recolhidos sob a forma da aplicação de um questionário. Este foi dirigido aos docentes que lecionaram a unidade curricular de álgebra linear ou de designação similar no ano letivo 2010-2011, nas instituições públicas portuguesas do ensino superior.

Num momento inicial, a partir da página eletrónica de cada uma das instituições de ensino superior público existentes em Portugal, realizou-se a pesquisa da oferta formativa de cursos do primeiro ciclo de estudos e mestrados integrados, que contemplavam no plano de estudos uma unidade curricular onde constasse, no mínimo, os termos álgebra e linear. O envio do questionário realizou-se por correio eletrónico para os endereços dos docentes disponibilizados na página eletrónica ou, na ausência desta informação, por pedido dirigido aos responsáveis pela unidade curricular, diretores de departamento ou diretores de escola/faculdade. O momento de passagem do questionário aconteceu após o término do semestre em que constava a unidade curricular no plano de estudos.

O critério estabelecido para a constituição da amostra do presente estudo foi cada docente ter lecionado álgebra linear, pelo menos, em cursos de engenharia. Neste sentido, de todos os docentes que aceitaram responder ao questionário, 41 cumpriam aquele critério, distribuídos por 22 instituições. Com esta amostra conseguiu-se assegurar a representatividade em termos geográficos e quanto ao tipo de instituição (universidades e institutos politécnicos).

A análise dos questionários foi reduzida às questões que direta ou indiretamente se relacionavam com o propósito deste estudo: as questões um e dois para a caracterização da amostra; a questão quatro para a constituição da amostra; as questões cinco, seis, oito, nove e catorze, para o estudo do indicador *uso da tecnologia*.

B. As questões do questionário e o propósito de pesquisa

No âmbito da caracterização e constituição da amostra, começou-se por questionar a experiência, em número de anos, no ensino da unidade curricular e a opção pessoal por ensinar álgebra linear (Fig.1).

O número de anos de ensino da álgebra linear pode ser diferenciador da prática dos docentes, nomeadamente ao nível das opções metodológicas decorrentes da experiência e a iniciativa para a mudança. Por sua vez, as circunstâncias de um docente lecionar a unidade curricular de álgebra linear podem ser díspares, desde ser-lhe possibilitado por ser a primeira escolha e área de

interesse ou ter de lecionar a unidade curricular por imposições e restrições na escolha. Em torno deste pressuposto, procurar-se-á aferir se a predisposição para o ensino da unidade curricular se repercutirá nas preocupações didáticas e nas inovações pedagógicas. A questão quatro (Fig. 1) permitiu concentrar as respostas dos docentes que lecionaram em cursos de engenharia.

1. Há quantos anos leciona Álgebra Linear?
_____ Anos
2. Leciona Álgebra Linear por opção pessoal?
<input type="checkbox"/> Sim
<input type="checkbox"/> Não
4. A que cursos de licenciatura lecionou Álgebra Linear no presente ano letivo? [1 ou mais opções]
<input type="checkbox"/> Matemática
<input type="checkbox"/> Engenharias
<input type="checkbox"/> Outros. Quais? _____

Fig. 1. Sobre a caracterização e constituição da amostra.

As questões cinco e seis (Fig. 2) intuía suspeições quanto à sustentação da potencial opção pelo uso da tecnologia. Torna-se passível de análise se esta inovação metodológica é consequente ao conhecimento de resultados de investigação ou se resulta de outros pressupostos.

5. Quais as suas influências quanto à prática docente desta unidade curricular? [1 ou mais opções]	
<input type="checkbox"/> A metodologia de antigos professores	<input type="checkbox"/> A reflexão sobre a própria prática docente
<input type="checkbox"/> A própria experiência da prática docente	<input type="checkbox"/> O contacto com docentes da área
<input type="checkbox"/> A formação pedagógica contínua	<input type="checkbox"/> Os resultados de investigação existentes sobre o ensino da Álgebra Linear
6. Já procedeu a reformulações na abordagem da unidade curricular?	
<input type="checkbox"/> Não	
<input type="checkbox"/> Sim. Com que finalidade? [1 ou mais opções]	
<input type="checkbox"/> Acrescentar/remover exemplos	
<input type="checkbox"/> Acrescentar/remover exercícios	
<input type="checkbox"/> Reordenar tópicos	
<input type="checkbox"/> Reestruturar a introdução de conceitos/tópicos	
<input type="checkbox"/> Testar novas estratégias de ensino	
<input type="checkbox"/> Eliminar tópicos. Quais? _____	
<input type="checkbox"/> Outros. Quais? _____	
Motivado... [1 ou mais opções]	
<input type="checkbox"/> Pela adaptação ao tipo de alunos	
<input type="checkbox"/> Pelo processo de Bolonha	
<input type="checkbox"/> Pela reflexão sobre a própria prática	
<input type="checkbox"/> Pelo conhecimento de resultados de investigação em ensino da Álgebra Linear. Quais? _____	
<input type="checkbox"/> Por opiniões de colegas e/ou orientações da instituição/curso. Quais? _____	

Fig. 2. Sobre a prática docente.

Nas questões oito e nove (Fig. 3) abordou-se o tipo de recursos segundo os quais os docentes alicerçavam a sua prática de uma forma mais recorrente e o modo como utilizavam esses recursos. Por um lado, poder-se-á observar se lecionam de uma forma mais tradicional, com destaque para a utilização estrita do quadro e eventual apoio de uma sebenta ou livro de texto; por outro lado, se são diferenciadores ao nível da utilização de recursos de cariz tecnológico, maximizado com a utilização do computador e

software, em consonância com a importância atribuída pelos investigadores.

Sobre os procedimentos de avaliação pensados pelos docentes, pretendia-se aferir com a questão catorze (Fig. 3) se adotavam outros mecanismos e concomitantes com o uso da tecnologia.

8. Que tipo de recursos utiliza numa aula representativa da sua prática? [1 ou mais opções]	
<input type="checkbox"/> Quadro	<input type="checkbox"/> Sebenta
<input type="checkbox"/> Projetor multimédia	<input type="checkbox"/> Calculadora
<input type="checkbox"/> Livro de texto	<input type="checkbox"/> Retroprojetor/acetatos
<input type="checkbox"/> Quadro interativo	<input type="checkbox"/> Outros. Quais? _____
<input type="checkbox"/> Computador e software com extensão a aplicações da Álgebra Linear. Quais? _____	
9. Como usa e/ou articula os recursos assinalados em 8.?	
14. Usa outros mecanismos de avaliação, para além da realização de testes/exames escritos?	
<input type="checkbox"/> Não	
<input type="checkbox"/> Sim. Quais? _____	

Fig. 3. Sobre a utilização de recursos.

III. RESULTADOS GERAIS DO ESTUDO

No contexto de uma leitura global dos dados recolhidos e atendendo às questões destacadas do questionário (apresentadas na secção anterior), agruparam-se os dados em quatro categorias: tempo e opção de ensino da unidade curricular; influências na prática docente; alcance das reformulações no ensino da unidade curricular; tipo e utilização de recursos. A seguir são apresentados os dados relativos às categorias referidas.

Relativamente ao número de anos no ensino da álgebra linear, 45% dos inquiridos pertenciam ao intervalo de um a cinco anos e aproximadamente três quartos tinham cumulativamente até dez anos de experiência. Dois aspetos se destacaram à partida, associados àqueles intervalos de número de anos: dos oito docentes que não ensinavam álgebra linear por opção pessoal, seis tinham uma experiência de ensino na área entre um a cinco anos; dos quinze docentes que assinalaram o uso de computador e *software*, catorze tinham até dez anos no ensino da álgebra linear.

Os dados referentes às influências na prática docente estão reunidos na TABELA I. *A priori* a questão subentendia dois grupos distintos, consoante a prática em termos das suas influências. Por um lado, um grupo condizente com uma atuação no terreno de forma mais experiencial e tácita², aquela que assenta na influência dos antigos

²Designações atribuídas a Cochran-Smith e Lytle, citadas em [14].

professores, na própria experiência e no contacto com os pares. Por outro lado, um grupo que procura sustentar as práticas no conhecimento mais formal e científico², procurado em investigações publicadas, na formação pedagógica contínua e na reflexão sobre a prática. Dos dados observados e com atenção à predominância das influências nas práticas, sobressaiu que os inquiridos tendiam a lecionar álgebra linear de uma forma mais experiencial e tácita, incluindo-se neste grupo cerca de 80% dos docentes.

Com atenção ao alcance das reformulações que os inquiridos já efetuaram na abordagem da unidade curricular, verificou-se que quem respondeu afirmativamente já procedeu a reformulações de pequena monta (acrescentar e remover exercícios e exemplos e introduzir, eliminar e reordenar tópicos). Noutra direção, treze indicaram ter testado novas estratégias de ensino, dois dos quais motivados pelo conhecimento das investigações na área.

TABELA I
DISTRIBUIÇÃO DAS INFLUÊNCIAS NA PRÁTICA DOCENTE

		Responses	Percent
		N	of Cases
Quais as influências na prática docente?	A metodologia de antigos professores	17	40,5%
	A própria experiência da prática docente	32	76,2%
	A formação pedagógica contínua	3	7,1%
	A reflexão sobre a própria prática docente	36	85,7%
	O contacto com docentes da área	24	57,1%
	Os resultados de investigação sobre o ensino da Álgebra Linear	8	19,0%

Segundo este último resultado, parece não haver correspondência entre a concretização de inovações pedagógicas e o conhecimento de resultados de investigação. E na tentativa de se estabelecer se a utilização da tecnologia foi uma nova estratégia de ensino testada pelos docentes inquiridos, verificou-se que um em cada três dos docentes que indicaram ter já testado novas estratégias de ensino também assinalou a utilização de recursos tecnológicos.

As ocorrências quanto aos recursos utilizados pelos inquiridos nas suas aulas aparecem na TABELA II. As hipóteses definidas à partida enquadravam-se em dois tipos de recursos: recursos tecnológicos

(projektor multimédia, quadro interativo, computador e *software* e calculadora) e recursos tradicionais (quadro, livro de texto, sebenta e retroprojektor/acetatos, este no sentido de já ser antigo). A primeira evidência reportou ao uso de projetores multimédia. Quase metade dos inquiridos usava-o nas aulas e, segundo a informação recolhida na questão nove, o seu uso (regular ou ocasional) confinava-se à apresentação de diapositivos sobre os aspetos teóricos da álgebra linear, como conceitos e demonstrações. Ainda sobre os recursos tecnológicos, o uso da calculadora foi assinalado por dois dos inquiridos e ninguém indicou usar o quadro interativo.

Como informação central do estudo, quinze dos inquiridos usavam o computador e *software*. Sobre os programas utilizados, três referiram-se ao Scilab, três ao Octave, um ao Linear Algebra Toolkit, dois ao Maple, um ao Matlab e um a *software* criado pelo próprio. Acrescenta-se que dois docentes se referiram ao uso do computador apenas para mostrar exemplos geométricos, um deles usando o Mathematica. Outros dois docentes indicaram o uso de aplicações *online*.

TABELA II
DISTRIBUIÇÃO DOS RECURSOS UTILIZADOS

		Responses	Percent
		N	of Cases
Recursos:	Quadro	41	100,0%
	Projektor multimédia	21	51,2%
	Livro de texto	5	12,2%
	Computador e <i>software</i>	15	36,6%
	Sebenta	16	39,0%
	Calculadora	2	4,9%
	Retroprojektor/acetatos	4	9,8%

Convém realçar que alguns dos inquiridos que usaram o computador e *software*, ao não responder à questão nove, não forneceram indicações sobre se o uso dos programas era exclusivamente por parte do professor ou se era proporcionada também aos alunos. Apenas é factual, com referência, por exemplo, a aulas em laboratórios ou formas alternativas de avaliação, a extensão do uso do computador aos alunos em seis dos casos. O uso de *software* em articulação com mecanismos alternativos de avaliação foi ainda observável em quatro casos, passando pela realização de testes parciais, com o auxílio dos programas usados nas aulas, e de trabalhos práticos realizados dentro e fora da aula.

IV. À PROCURA DE PADRÕES NO USO DA TECNOLOGIA

Recordamos a questão de investigação sobre a qual se centrou a investigação: *Qual ou quais os padrões no ensino da álgebra linear em cursos de engenharia, nas instituições portuguesas, atendendo ao uso da tecnologia?*

Estreitando a análise e a relação entre as categorias assinaladas anteriormente, referimo-nos a seguir a alguns dos padrões que foi possível identificar nas práticas dos docentes inquiridos.

Sobre a preponderância e forma de usar os recursos emergiram dois padrões:

- Os recursos considerados nas práticas não acompanham os avanços tecnológicos. Este padrão reflete os recursos que foram ou não substituídos de uma forma substancial. Neste caso, o quadro continuou a ser usado por todos os professores, onde uma parte considerável ainda o usa na exploração teórica e prática dos conteúdos, e não foi substituído pelo quadro interativo. No entanto, convém realçar que a utilização dos quadros interativos depende de as aulas decorrerem em salas onde exista este recurso. Por sua vez, a utilização do retroprojetor foi substituída pelo projetor multimédia. Este último continua com a função de apresentação de diapositivos alusivos a aspetos teóricos dos assuntos. Noutros casos, a utilização dos livros de texto teve pouca expressão, sendo dada maior importância ao uso de sebatas, e o uso das calculadoras não mereceu a atenção dos docentes nas suas aulas.
- Considerando a parte da amostra em que se verificou o uso do computador e *software*, o quadro foi utilizado para a resolução de exercícios e exemplificação de conceitos e aplicações, o projetor multimédia para a apresentação da teoria e o computador para o apoio na resolução de exercícios. Acrescenta-se que o uso do computador e *software* também se estendeu à avaliação, mas não foi a norma.

No que respeita ao uso do computador e *software*, identificaram-se dois padrões no atual ensino da álgebra linear nos cursos de engenharia:

- Os docentes que usaram esta tecnologia tinham uma experiência no ensino da unidade

curricular até dez anos, faziam-no de forma acrítica e influenciados pelo trabalho de outros docentes e nem sempre implicavam os alunos na sua utilização. Para a identificação deste padrão começou-se por olhar para os quinze docentes que incluíram nas suas aulas o uso desta tecnologia. Na relação com a experiência no ensino da álgebra linear, a maioria lecionava até há dez anos a unidade curricular. A procura de indícios que conduziram este grupo de inquiridos a metodologias diferenciadas pelo uso do computador e *software* levou-nos à atenção sobre as influências na prática docente. Neste âmbito, quatro dos inquiridos evidenciaram a tendência para sustentar as práticas no conhecimento formal e científico, enquanto os restantes se inclinaram para práticas influenciadas sobretudo pela própria experiência e o contacto com outros docentes. Uma relação bastante estreita que se verificou, foi entre o uso do computador e *software* e o contacto com outros docentes: dos quinze inquiridos, onze indicaram como influência na prática o contacto com outros docentes. Neste caso, o mote para o uso do computador pode ser consequência do conhecimento do trabalho dos colegas ou decisões institucionais e não do conhecimento das propostas dos investigadores, como as avançadas pelo LACSG. Por exemplo, verificou-se no nosso estudo, que os três docentes que usavam o Octave eram todos da mesma instituição e com finalidades de utilização idênticas.

- Os docentes que não usaram tal tecnologia ensinavam com base na própria experiência e na reflexão sobre a prática, independentemente do número de anos no ensino da álgebra linear. Estas duas influências na prática acentuaram-se nos docentes que não usaram o computador e *software* em contraposição com os docentes que o fizeram. Por sua vez, o número de anos a ensinar álgebra linear revelou-se díspar neste grupo de docentes.

V. CONCLUSÃO

Este estudo conduziu-nos à identificação de quatro padrões sobre o recurso à tecnologia pelos atuais docentes de álgebra linear, que lecionam em cursos de engenharia nas instituições portuguesas. Dois dos padrões aludem ao uso dos recursos disponibilizados atualmente para o ensino, em

preponderância e modalidades. Os outros dois padrões dividem e caracterizam os docentes quanto a incluírem ou não nas aulas o uso do computador e *software*.

Os dados recolhidos levam-nos a concluir que ainda estamos próximos do estereótipo que predefinimos. Um grupo mais restrito de docentes inclui recursos tecnológicos nas suas aulas, mas ainda pouco fundamentado, sem se conseguir associar esta tendência, por exemplo, às sugestões conhecidas dos investigadores em didática da álgebra linear.

Permanece assim o desafio futuro de conhecer as razões que poderão conduzir os docentes a optarem ou não por enfatizar o uso da tecnologia nas suas aulas e como tornar o ensino da álgebra linear, em articulação com o uso da tecnologia, mais proficiente.

REFERÊNCIAS

- [1] D. Carlson, C.R. Johnson, D.C. Lay and A.D. Porter, "The Linear Algebra Curriculum Study Group recommendations for the first course in Linear Algebra", *The College Mathematics Journal*, vol. 24 (1), pp. 41-46, January, 1993.
- [2] D. Carlson, C.R. Johnson, D.C. Lay, A.D. Porter, A.E. Watkins and W. Watkins, Eds., *Resources for Teaching Linear Algebra*. Washington, DC: Mathematical Association of America, 1997.
- [3] A. Sierpiska, J. Trgalová, J. Hilleland T. Dreyfus, "Teaching and learning linear algebra with Cabri", in *Proceedings of the 23rd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, vol. 1, O. Zaslavsky, Ed. Haifa, Israel, 1999, pp. 119-134.
- [4] J. Klasa, "A few pedagogical designs in linear algebra with Cabri and Maple", *Linear Algebra and its Applications*, vol. 432 (8), pp. 2100-2111, April, 2010.
- [5] R. Uicab and A. Oktaç, "Transformaciones lineales en un ambiente de geometría dinámica", *Relime*, vol. 9 (3), pp. 459-490, November, 2006.
- [6] D.G. Mallet, "Multiple representations for systems of linear equations via the computer algebra system Maple", *International Electronic Journal of Mathematics Education*, vol. 2 (1), February, 2007.
- [7] W. Lindner, "CAS – supported multiple representations in elementary linear algebra", *ZDM – The International Journal of Mathematics Education*, vol. 35 (2), April, 2003.
- [8] L. Dikovic, "Interactive learning and teaching of linear algebra by Web technologies: some examples", *The Teaching of Mathematics*, vol. X2, pp. 109-116, 2007.
- [9] H. Anton and C. Rorres, *Elementary Linear Algebra*, 10th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2010.
- [10] G. Strang, *Introduction to Linear Algebra*, 3rd ed. Wellesley, MA: Wellesley-Cambridge Press, 2003.
- [11] D.C. Lay, *Linear Algebra and its applications*, 4th ed. Reading, MA: Addison-Wesley, 2012.
- [12] J. Hillel, "Computer Algebra Systems in the learning and teaching of linear algebra: some examples", in *The Teaching and Learning of Mathematics at University Level: an ICMI Study*, vol. 7, D. Holton, Ed. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001, pp. 371-380.
- [13] J. Day and D. Kalman, "Teaching linear algebra: what are the questions?", unpublished.
- [14] J. P. Ponte, "Investigar a nossa própria prática", in *Refletir e Investigar sobre a Prática Profissional*, GTI (Org.). Lisboa: APM, 2002, pp. 5-28.



Ricardo Gonçalves nasceu em Fafe, Portugal, em 1975. Licenciou-se em Ensino da Matemática na Universidade de Aveiro, em 2002, e concluiu o mestrado na mesma área na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, em 2005. É doutorando em Didática de Ciências e Tecnologias, especialidade de Didática das Ciências Matemáticas na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

É assistente convidado no Instituto Politécnico do Cávado e do Ave desde 2009, onde leciona regularmente a unidade curricular de Matemática Discreta e Álgebra Linear. Desenvolve investigação em didática da álgebra linear e tem algumas publicações na área.



Cecília Costa nasceu no Porto, Portugal, em 1966. É licenciada em Matemática (Ramo Educacional), em 1990, pela Universidade do Porto, mestre em Ciências da Educação (ramo de Psicologia da Educação), em 1994, pela Universidade de Coimbra, doutora em Matemática, em 2000, e agregada em Didática de Ciências e Tecnologia (especialização em Didática de Ciências Matemáticas), em 2013, ambos pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. É docente na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro desde 1994 e atualmente é professora auxiliar com agregação. Leciona regularmente as unidades curriculares de Álgebra Linear e de Didática da Matemática, áreas onde desenvolve investigação. Tem várias publicações nacionais e internacionais nestas áreas.

QUESTIONÁRIO

INVESTIGADOR: Ricardo Jorge Castro Gonçalves

ORIENTAÇÃO: Prof. Doutora Cecília Costa, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

OBJETO DE ESTUDO: Docentes de Álgebra Linear_Ano letivo 2010-2011

OBJETIVO DO ESTUDO: O estudo enquadra-se no desenvolvimento de um programa doutoral em Didática de Ciências e Tecnologias, especialidade de Didática das Ciências Matemáticas e pretende-se com este questionário aferir sobre a prática docente dos professores que lecionaram a unidade curricular de **Álgebra Linear** ou similar, no ano letivo 2010-2011, em instituições do ensino superior público. As respostas são anónimas e confidenciais e serão usadas apenas no âmbito do estudo mencionado.

1. Há quantos anos leciona Álgebra Linear?

_____ Anos

2. Leciona Álgebra Linear por opção pessoal?

Sim

Não

3. No presente ano letivo lecionou a componente:

Teórica

Teórico-prática

Ambas

4. A que cursos de licenciatura lecionou Álgebra Linear no presente ano letivo? [1 ou mais opções]

Matemática

Engenharias

Outros. Quais? _____

5. Quais as suas influências quanto à prática docente desta unidade curricular? [1 ou mais opções]

A metodologia de antigos professores

A própria experiência da prática docente

A formação pedagógica contínua

A reflexão sobre a própria prática docente

O contacto com docentes da área

Os resultados de investigação existentes sobre o ensino da Álgebra Linear

6. Já procedeu a reformulações na abordagem da unidade curricular?

Não

Sim, Com que finalidade? [1 ou mais opções] _____

Acrescentar/remover exemplos

Acrescentar/remover exercícios

Reordenar tópicos

Reestruturar a introdução de conceitos/tópicos

Testar novas estratégias de ensino

Eliminar tópicos. Quais? _____

Outros. Quais? _____

Motivado... [1 ou mais opções]			
<input type="checkbox"/>	Pela adaptação ao tipo de alunos		
<input type="checkbox"/>	Pelo processo de Bolonha		
<input type="checkbox"/>	Pela reflexão sobre a própria prática		
<input type="checkbox"/>	Pelo conhecimento de resultados de investigação em ensino da Álgebra Linear.		
	Quais? _____		
<input type="checkbox"/>	Por opiniões de colegas e/ou orientações da instituição/curso. Quais?		
	Quais? _____		
7. Quais as fontes bibliográficas que usa na preparação das aulas? [1 ou mais opções]			
<input type="checkbox"/>	Sebentas usadas na instituição de ensino onde leciona		
<input type="checkbox"/>	Livros antigos. Quais? _____		
<input type="checkbox"/>	Últimas novidades quanto a livros de Álgebra Linear.		
	Quais? _____		
<input type="checkbox"/>	Outras. Quais? _____		
8. Que tipo de recursos utiliza numa aula representativa da sua prática? [1 ou mais opções]			
<input type="checkbox"/>	Quadro	<input type="checkbox"/>	Sebenta
<input type="checkbox"/>	Projetor multimédia	<input type="checkbox"/>	Calculadora
<input type="checkbox"/>	Livro de texto	<input type="checkbox"/>	Retroprojektor/acetatos
<input type="checkbox"/>	Quadro interativo	<input type="checkbox"/>	Outros.
			Quais? _____
<input type="checkbox"/>	Computador e software com extensão a aplicações da Álgebra Linear.		
	Quais? _____		
9. Como usa e/ou articula os recursos assinalados em 8.?			
10. Por que ordem desenvolve os conteúdos de Álgebra Linear? [0 - não leciono / 1º, 2º, 3º... ordem pela qual leciono]			
<input type="checkbox"/>	Sistemas de Equações Lineares	<input type="checkbox"/>	Matrizes
<input type="checkbox"/>	Espaços Vetoriais	<input type="checkbox"/>	Transformações Lineares
<input type="checkbox"/>	Determinantes	<input type="checkbox"/>	Valores e Vetores Próprios
<input type="checkbox"/>	Outros. Quais? _____		
11. No desenvolvimento do capítulo Espaços Vetoriais, estabeleça:			
11.1 A ordem de abordagem [0 - não leciono / 1º, 2º, 3º - ordem numérica]	11.2 A preponderância na abordagem [0 - não leciono / 1 - mais importante, ..., 3 - menos importante]		
<input type="checkbox"/>	Espaços vetoriais abstratos		
<input type="checkbox"/>	\mathbb{R}^n		
<input type="checkbox"/>	\mathbb{R}^2 e \mathbb{R}^3		
<input type="checkbox"/>	\mathbb{R}^2 e \mathbb{R}^3		
<input type="checkbox"/>	Espaços vetoriais abstratos		
<input type="checkbox"/>	\mathbb{R}^n		

12.	Indique a sequência mais frequente segundo a qual explora/estrutura a abordagem dos conteúdos? [0 - não se aplica / Ordem numérica 1°, 2°, 3°, ...]	
<input type="checkbox"/>	Exercícios	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Demonstrações	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Quadro-resumo	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Exemplos	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Outro passo. Qual? _____	<input type="checkbox"/>
		Teoremas
		Observações/notas
		Definição
		Esquema/Organigrama
13.	Que tipo de linguagem utiliza habitualmente nas aulas de Álgebra Linear? [1 ou mais opções]	
<input type="checkbox"/>	Informal _____	
<input type="checkbox"/>	Formal, Tendencialmente: [1 opção]	
	<input type="checkbox"/>	Algébrica
	<input type="checkbox"/>	Geométrica
	<input type="checkbox"/>	Mista
<input type="checkbox"/>	Ambas	
14.	Usa outros mecanismos de avaliação, para além da realização de testes/exames escritos?	
<input type="checkbox"/>	Não	
<input type="checkbox"/>	Sim. Quais? _____	
15.	Ao nível da avaliação escrita: [1 ou mais opções]	
<input type="checkbox"/>	Coloca exercícios aplicados a situações reais/concretas	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Os testes/exames são idênticos aos de anos anteriores	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Coloca exercícios de tipo diferente dos abordados na aula	<input type="checkbox"/>
		Enfatiza exercícios rotineiros
		Seleciona os exercícios de livros
		Cria os exercícios
16.	Quais os constrangimentos à aprendizagem dos tópicos de Álgebra Linear que identifica?	
<input type="checkbox"/>	Nenhum	
<input type="checkbox"/>	Lacunas ao nível de conhecimento de pré-requisitos	
<input type="checkbox"/>	Dificuldade dos alunos em articularem os assuntos	
<input type="checkbox"/>	O formalismo dos conteúdos de Álgebra Linear	
<input type="checkbox"/>	Os próprios conteúdos subjacentes ao actual programa da unidade curricular	
<input type="checkbox"/>	Outros. Quais? _____	
17.	Quais as estratégias que utiliza para tornar a aprendizagem dos alunos mais eficaz?	
Obrigado pela colaboração!		

Capítulo 4

Declaración AENUI-CODDII por la inclusión de asignaturas específicas de ciencia y tecnología informática en los estudios básicos de la enseñanza secundaria y bachillerato

Xavi Canaleta	Fermín Sánchez	Inés Jacob	Ángel Velázquez	Mercedes Marqués
URL	UPC	U. Deusto	URJC	UJI
Barcelona	Barcelona	Bilbao	Madrid	Castellón

Title – AENUI-CODDII manifesto on offering computing in high-school curricula

Abstract– Currently computing is omnipresent, being a source of innovation for any scientific or technological field. Moreover, it is a fundamental part of current society. Neither any discipline evolved so much in such a short period of time, nor did it have such a huge influence on our lives. Probably computing is, jointly with mathematics, the most transversal of all sciences. Consequently, in the same way as mathematics do, computing science and technology must be present in any educational level.

Information technologies, i.e. the practical side of computing, are nowadays the source of most jobs on demand in the world. People who design and construct computing systems define social and working relationships and habits. However, youngsters exhibit a worrying lack of vocations to become engineers, in particular to become computing engineers.

Current highschool students are instructed in the use of computing tools, but they hardly know anything about computing as a science. Moreover, since the approval of the LOMCE,

skills on technology (in a broad sense) are acquired in elective courses that schools are not forced to offer. However, acquiring skills on computing is fundamental if we expect students to contribute to transform future society, and to serve as catalysts of change in the productive model our country needs.

For these reasons, we present a manifesto on offering computing in high school curricula, that we claim Spanish educational authorities should consider.

Keyword– Computing in high school, Manifesto AENUI-CODDII

Resumen– La informática está presente y es el motor de la innovación en todos los campos de la ciencia y tecnología, además de ser una parte fundamental de la sociedad actual. Ninguna otra disciplina ha evolucionado tanto de una forma tan rápida, ni ha tenido tanta influencia en la calidad de vida de las personas. La informática es probablemente, junto con las matemáticas, la más transversal de las ciencias. Por este motivo, la ciencia y la tecnología informática también deben estar presentes en todos los niveles del sistema educativo.

Las Tecnologías de la Información, aplicación de la ciencia y la tecnología informática, son hoy en día la fuente con mayor demanda de empleo en todo el mundo. Las personas que diseñan y construyen los sistemas informáticos definen la forma en que se relacionan la sociedad y las empresas. No obstante, existe hoy en día una alarmante falta de vocación en nuestros jóvenes para ser ingenieros, y en particular para estudiar ingenierías relacionadas con las tecnologías de la información.

Los actuales alumnos de secundaria y bachillerato reciben formación en el uso de herramientas informáticas, pero apenas se forman en la informática como ciencia. Por si fuera poco, desde la aparición de la LOMCE, las competencias relacionadas con la tecnología (en general) son adquiridas en asignaturas optativas cuya impartición los centros pueden optar por no ofertar. Sin embargo, la adquisición de competencias en ciencia y tecnología informática es fundamental si queremos que estos estudiantes contribuyan a transformar la sociedad del futuro y ejerzan como catalizadores del cambio de modelo productivo que necesita nuestro país.

Por ello, presentamos esta declaración que incluye las recomendaciones que consideramos deben ser tenidas en cuenta por las autoridades educativas con objeto de incluir la ciencia y la tecnología informática en los planes de estudios del bachillerato y de la enseñanza secundaria.

Palabras clave– Informática en secundaria, Informática en bachillerato, Declaración AENUI-CODDII

I. INTRODUCCIÓN

La informática está presente en nuestra sociedad y es el motor de la innovación en todos los campos de la ciencia y la tecnología. Es, sin duda, un pilar fundamental de la sociedad actual, que hoy en día no se puede concebir sin internet y sin las aplicaciones que usan la red: webs, email, Facebook, Twitter, blogs, wikis, etc. En toda la historia de la humanidad, ninguna otra disciplina ha evolucionado tanto de una forma tan rápida como la informática (y es presumible que así

seguirá sien-do), ni ha tenido tanta influencia en la calidad de vida de las personas ni en su forma de relacionarse entre ellas y con las empresas y las instituciones.

La informática es probablemente, junto con las matemáticas, la más transversal de las ciencias. Por ello, y al igual que las matemáticas, debe estar presente en todos los niveles de la educación.

Las Tecnologías de la Información (TI) son hoy en día la fuente con mayor demanda de empleo en todo el mundo. Son un mercado que mueve mucho dinero y da trabajo, tanto de forma directa como indirecta, a cada vez más personas. Pese a ello, existe consenso entre los expertos de que los próximos 10 años las universidades de todo el mundo serán incapaces de titular a todos los ingenieros que el mercado necesita. Algunos países emergentes, como India o China, se han erigido en exportadores de ingenieros TI, pero no tardarán mucho tiempo en dejar de serlo por el incremento de estos profesionales que se espera en su demanda interna. De hecho, cada vez hay más centros de desarrollo de software en países emergentes que dan servicio a países del primer mundo, no porque sus servicios sean más baratos (o al menos no solamente por eso), sino por la dificultad de encontrar ingenieros TI en los países industrializados [9].

El conocimiento y uso de las Tecnologías de la Información puede definir el modelo productivo de un país, y cada día tendrá más peso. Las personas que diseñan y construyen los sistemas informáticos definen la forma en que se relacionan la sociedad y las empresas. Si la población no conoce los principios básicos de funcionamiento de los computadores (tanto a nivel de hardware como de software) y no tiene una formación suficiente en Tecnologías de la Información, se corre el riesgo de caer en una dependencia tecnológica tanto por parte del país como de sus habitantes.

Pese a todo lo expresado, existe hoy en día una alarmante falta de vocación en nuestros jóvenes para estudiar ingeniería, y en particular para estudiar ingenierías relacionadas con las Tecnologías de la Información. Nuestros jóvenes parecen percibir que el esfuerzo necesario para obtener el título de ingeniero no se compensa sus resultados. Muchos titulados tardan más de cuatro o cinco años en obtener un buen sueldo desde que abandonan la universidad, lo que sumado a la

media de seis o siete años invertidos desde que comenzaron sus estudios los sitúa en la treintena antes de obtener un sueldo razonable para la formación que han recibido. Si, por el contrario, se ponen a trabajar antes, o cursan otros estudios menos complicados y que por lo tanto ellos asumen que pueden acabar antes, parecen pensar que van a tardar menos tiempo en conseguir un salario razonable. Este efecto se ha visto magnificado en países como España, donde la burbuja inmobiliaria de principios del siglo XXI facilitó a un gran número jóvenes la obtención de pingües sueldos en el mercado de la construcción sin la necesidad de disponer de formación en el campo. Muchos jóvenes abandonaron las aulas a edad temprana para trabajar como paletas cobrando sueldos de ingeniero experimentado y, cuando la burbuja finalmente estalló, se han encontrado sin trabajo y sin formación. Y sin sueldo.

La juventud actual parece haber cambiado la cultura del esfuerzo por la cultura de los resultados inmediatos, y paradójicamente las propias Tecnologías de la Información han contribuido a ello. Hoy en día, todo está a un clic de distancia.

Algunos países han comenzado ya campañas, aunque tímidas todavía, para fomentar vocaciones de ingeniería informática. Recientemente, el Presidente de los EEUU difundió un vídeo en el que recomendaba a los jóvenes estadounidenses que cursasen estos estudios¹, pero también ha habido empresas que, consciente o inconscientemente, han puesto en marcha campañas para alentar estas vocaciones entre los jóvenes. La famosa muñeca *Barbie* ha sacado recientemente su modelo *Barbie Ingeniero Informática*, que probablemente aumentará dentro de algunos años el porcentaje de mujeres que cursan estos estudios. Hasta entonces, tendremos que conformarnos con unas aulas pobladas de hombres, cuando curiosamente a principios de los 80, cuando los estudios de licenciatura informática comenzaron en España (entonces no era todavía una ingeniería), la cantidad de hombres y mujeres en el aula era similar.

Pero el problema no está en la universidad (al menos, no solamente), sino mucho antes. Los actuales alumnos de secundaria y bachillerato que cursan asignaturas relacionadas con la tecnología

reciben formación en el uso de herramientas informáticas (ofimática), pero apenas se forman en la informática como ciencia. Por si fuera poco, desde la aparición de la LOMCE las competencias relacionadas con la tecnología (en general) son adquiridas en asignaturas optativas, cuya impartición los centros pueden optar por no ofertar. Un estudiante podría acabar sus estudios de secundaria o bachillerato sin haber recibido más formación informática que la que pueda obtener de forma autodidacta. Sin embargo, la adquisición de competencias informáticas es fundamental si queremos que estos estudiantes contribuyan a transformar la sociedad del futuro y ejerzan como catalizadores del cambio de modelo productivo que necesita nuestro país.

Por ello, AENUI² y CODDII³ decidieron elaborar una declaración que denuncie este grave problema de nuestra sociedad y solicite a las autoridades competentes que le pongan remedio. La declaración incluye las recomendaciones que deberían ser tenidas en cuenta por las autoridades educativas para incluir las competencias relacionadas con la informática en los planes de estudios del bachillerato y de la enseñanza secundaria.

El resto de este artículo se organiza de la siguiente forma: La Sección 2 explica la metodología que hemos usado para redactar la declaración. La Sección 3 describe de forma muy breve los diferentes documentos que hemos consultado. La Sección 4 explica la situación al respecto en otros países. La Sección 5 presenta el resultado de nuestro trabajo; la Declaración AENUI-CODDII. Finalmente, la Sección 5 concluye el artículo.

II. METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO

En esta sección se presentan las fases que ha tenido la elaboración de la declaración hasta disponer de la redacción final del texto.

A. Definición del objetivo

La temática a tratar es punto de encuentro de opiniones, iniciativas y preocupaciones diversas que tienen que ver con temas cercanos y relacionados, como son la falta de vocaciones

¹<https://www.youtube.com/watch?v=6XvmhE1J9PY>

² Asociación de Enseñantes Universitarios de la Informática
³ Confederación de Decanos y Directores de Ingeniería Informática

infantiles y juveniles por la ingeniería informática, los resultados académicos en los estudios universitarios de informática, los estereotipos asociados a la profesión de “informático”, etc. Por ello, nos planteamos como primer paso concretar el objetivo a lograr por el grupo de trabajo, que quedó definido como: "*Declaración AENUI-CODDII sobre competencias TI (Tecnologías de la Información) en primaria y secundaria, entendiendo por competencias TI aquellas que aporten al perfil de los egresados de secundaria la capacidad de (1) optar por estudiar ingeniería informática (o no) con conocimientos, habilidades y experiencias suficientes y (2) elegir itinerarios formativos en secundaria y bachiller apropiados para su opción de formación superior.*"

B. Constitución del grupo de trabajo

Tras presentar a AENUI y CODDII el objetivo planteado, se constituyó el equipo de trabajo formado por miembros de ambas asociaciones. En este grupo han trabajado profesores experimentados en docencia de grado y máster en titulaciones universitarias de informática. En las etapas finales de redacción se sumó al grupo un miembro de SCIE⁴.

El primer contacto de los integrantes del grupo de trabajo se realizó por correo electrónico, con la presentación de las experiencias e intereses de cada uno más directamente relacionados con el objetivo del grupo. Resultó notable la presencia de personas con vinculación con másteres universitarios en Formación de Profesorado de Secundaria, con tareas de docencia y/o coordinación, con diseño de planes de estudio, con la planificación y realización de actividades de acercamiento del mundo de la tecnología a estudiantes de primaria y secundaria, y con la incorporación a la universidad y seguimiento en sus primeros cursos de estudiantes de ingeniería.

C. Recopilación de referencias bibliográficas y revisión

Para la recopilación de referencias bibliográficas de interés contamos con la colaboración de todos los miembros de AENUI y CODDII, quienes bien por iniciativa propia al conocer nuestro objetivo o bien en respuesta a una invitación por nuestra parte, identificaron documentos de naturaleza

diversa relacionados de una u otra manera con el objetivo del desarrollo de las competencias TI en la educación preuniversitaria.

Cada uno de los diferentes documentos identificados quedó asignado a uno de los integrantes del grupo que quedó emplazado a, tras su lectura, preparar un resumen y un comentario de cada uno de los documentos que le correspondió leer.

D. Elaboración del esquema de la declaración

La primera y única reunión presencial se celebró con los objetivos de (1) elaborar el primer esquema de la declaración y (2) facilitar el trabajo colaborativo posterior, al habernos conocido un poco mejor.

Comenzamos con la presentación de la revisión bibliográfica realizada por cada uno de los miembros del grupo con el apoyo visual de un máximo de cinco diapositivas, para a continuación debatir sobre la naturaleza del documento a producir y acordar que tendría la forma de una introducción procedida de un conjunto de recomendaciones, y finalizar haciendo un primer listado de esas posibles recomendaciones.

Terminamos acordando los pasos posteriores y los plazos para hacer la propuesta inicial de documento al presidente de la CODDII y al coordinador de AENUI. A partir de entonces, la documentación y el borrador sobre el que trabajar quedaría recogido en un repositorio *online*.

E. Redacción de la primera propuesta de declaración

Dada la cantidad de ideas que surgieron durante la reunión y el poco tiempo del que disponíamos para la misma, fue necesario hacer un debate posterior para ir agrupando, añadiendo y/o eliminando ideas hasta tener la lista de lo que serían nuestras recomendaciones. Fue donde comenzó el trabajo más colaborativo con la utilización de documentos compartidos, editados por los diferentes miembros del grupo, y un considerable intercambio de emails.

Una vez acordadas las recomendaciones, la redacción de la introducción quedó a cargo de una persona y las recomendaciones a cargo de otra, con objeto de que los estilos de redacción no fueran demasiado dispares. Ya sólo quedaba uniformizar

⁴ Sociedad Científica Informática de España. www.scie.es

estilo y acordar denominaciones comunes, tras lo cual, tras un intenso debate en torno a la nomenclatura, llegamos a la redacción de la primera propuesta de declaración, que se presenta en este trabajo, lista para ser presentada a AENUI y CODDII.

Uno de los aspectos más difíciles a la hora de redactar la declaración ha sido encontrar la nomenclatura adecuada para definir qué competencias informáticas debían trabajar los estudiantes de bachillerato y secundaria. Las asignaturas de tecnología presentes como optativas en los actuales estudios de secundaria y bachillerato dedican una pequeña porción de su tiempo a la informática (ofimática, en su mayor parte), ya que deben tratar de la tecnología en general, y hacen especial énfasis en la informática como usuario (manejo de editores de texto, hojas de cálculo, etc.). Sin embargo, lo que consideramos que los estudiantes necesitan es un conocimiento más profundo. Hemos barajado diferentes nomenclaturas para definir ese tipo de conocimiento (ciencia informática, tecnología informática, ingeniería informática, competencias digitales o pensamiento digital, entre otras). En los documentos consultados en inglés hemos encontrado también diferentes nomenclaturas (*informatics, computer science, digital literacy*, etc.). Los términos *digital literacy* y competencias digitales suelen referirse a la ofimática, mientras que el resto suelen hacer referencia al tipo de competencias informáticas que consideramos deben ser incluidas en los currículos de secundaria y bachillerato. Dado que no parecía procedente hablar del término “ingeniería informática” en estos niveles de estudios, finalmente nos decantamos por usar el término “ciencia y tecnología informática”.

Nota: tras comenzar nuestra andadura como grupo, podemos decir que la hemos terminado pareciéndonos un poquito más a un equipo. El grupo se fue cohesionando a medida que avanzaba el desarrollo de la tarea encomendada.

III. ANTECEDENTES

En esta sección se describen muy brevemente los documentos más relevantes que hemos consultado para redactar la declaración.

A. Carta CEPIS

CEPIS⁵ (*Council of European Professional Informatics Societies*) tiene un grupo de trabajo sobre Computing in Schools que cuenta con un representante español, miembro de ATI⁶, involucrado en la docencia no universitaria. En una de las últimas reuniones de CEPIS en Bruselas, se sometió a aprobación una campaña europea para solicitar a las autoridades nacionales educativas la atención apropiada a la informática en las escuelas. La carta se centra en destacar cuatro aspectos:

- Se da muy poca prioridad en las escuelas al estudio de la informática, lo que produce una falta de vocación para realizar posteriormente estudios relacionados con la informática.
- La informática y la ofimática son complementarias. Todos los estudiantes deberían estudiar ambas.
- CEPIS ha creado recientemente una red de especial interés para incluir la informática en los currículos.
- Esta carta debe estar firmada en cada país por los representantes de CEPIS en dicho país, y se debe adjuntar documentación con sugerencias de cómo incluir la informática en los currículos.

En la carta se mencionan dos iniciativas interesantes: La DAE⁷ (*Digital Agenda for Europe*) y la *Grand Coalition for Digital Jobs*⁸, una asociación puesta en marcha por la Comisión Europea en marzo de 2013 para aumentar la oferta global de profesionales “digitalmente” cualificados para adaptarse mejor a la oferta y la demanda de “competencias digitales”. Hemos preferido mantener la traducción directa de algunos términos para no desvirtuar el encargo de esta comisión.

B. Manifiesto SIGCSE

El Capítulo español del SIGCSE⁹ (*ACM Special Interest Group on Computer Science Education*) redactó una declaración¹⁰ que firmaron los representantes de diversos colegios profesionales de informática. Se pueden incorporar nuevos

⁵ <http://www.cepis.org/>

⁶ <http://www.ati.es/>

⁷ <https://ec.europa.eu/digital-agenda/>

⁸ <http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/grand-coalition-digital-jobs-0>

⁹ <http://www.sigcse.es/>

¹⁰ <http://www.sigcse.es/manifiesto>

firmantes institucionales que den su apoyo al manifiesto enviando un mail a manifiesto@sigcse.es.

El manifiesto tiene dos puntos clave:

- La ciencia y tecnología informática debe ser una materia fundamental dentro de los currículos de educación secundaria y bachillerato, pasando su superación a ser obligatoria para obtener la graduación de los mencionados estudios y debiendo incluirse en las pruebas de acceso a la universidad.
- La enseñanza de la ciencia y tecnología informática debe ser impartida por profesores con cualificación suficiente que hayan pasado un proceso de selección específico, como ocurre en el resto de disciplinas fundamentales.

Al igual que en secciones anteriores, hemos mantenido la nomenclatura para evitar malas interpretaciones.

C. *Computing at School*

*Computing at School (CAS)*¹¹ es una organización que ha ido mucho más allá de redactar un simple manifiesto. Han publicado una guía detallada (a nivel de actividades) para incluir competencias informáticas en estudios de primaria. Para estudios de secundaria no han publicado una guía (todavía), pero han definido de forma precisa las competencias informáticas que deberían adquirir los estudiantes.

La guía de primaria proporciona muchos consejos, recursos e ideas para la construcción de un plan de estudios que incluya competencias informáticas. El plan de estudios de las TIC, que llaman explícitamente “*computing*”, incluye una línea específica de informática articulada como disciplina objeto, independiente del uso y la aplicación de la tecnología digital (nuevamente hemos mantenido la nomenclatura).

Se trata de un trabajo muy completo que puede ser usado por las escuelas de cualquier otro país para incorporar competencias informáticas en sus estudios de primaria y secundaria.

D. *Competencias básicas en el ámbito digital*

El *Departament d’Ensenyament de la Generalitat de Catalunya* publicó, en noviembre de 2013, dos documentos de 54 y 89 páginas con orientaciones para el despliegue de las competencias básicas en el ámbito de las TIC del alumnado de la primaria y secundaria obligatoria [12, 13].

Si nos centramos en el documento de secundaria, éste define cuatro dimensiones (instrumentos y aplicaciones, tratamiento de la información y organización de entornos de trabajo y aprendizaje, comunicación interpersonal y, finalmente, colaboración y ciudadanía, civismo e identidad digital) y once competencias básicas. También establece los contenidos clave, las gradaciones, orientaciones metodológicas y de evaluación para cada competencia. Finalmente, presenta una serie de anexos muy útiles con cuadros de relación entre competencias y contenidos básicos, competencias y gradación, y propuestas de vinculación de competencias a materias.

Si intentamos buscar información que tenga relación directa con el tema que nos ocupa, dentro de la dimensión de instrumentos y aplicaciones encontramos la competencia C1 descrita como “Seleccionar, configurar y programar dispositivos digitales según las tareas a realizar”. En la misma hay dos puntos clave a tener en cuenta:

- La programación hace referencia al uso de di-versos lenguajes asociados al control de dispositivos, lenguajes web y otros.
- La robótica es un entorno de aplicación de la programación para el funcionamiento de arte-factos, sensores, recogida de datos, etc.

E. *Informatics in Education: Europe cannot afford to miss the boat*

Este informe, fechado en abril de 2013, ha sido elaborado por un grupo de expertos formado por profesores y profesionales de dos de las asociaciones científicas más importantes en nuestro campo: *Informatics Europe* y *ACM Europe* [14]. Como se aprecia en el título, los autores ya avisan de que Europa no debe perder el barco a la hora de enseñar informática en primaria y en secundaria.

¹¹ <http://www.computingatschool.org.uk/>

En el informe se hace hincapié en que se debe educar tanto para conseguir una alfabetización digital, como se ha venido haciendo hasta ahora, como en informática, entendiendo esta como una ciencia como pueden serlo las matemáticas o la física. En el campo de la alfabetización digital, se insiste en que no solo hay que enseñar habilidades, sino también ciertas reglas que permitan hacer un uso eficaz, seguro y ético de las herramientas. En cuanto a la informática, además de entenderla como una ciencia que hay que conocer para estar preparados de cara a afrontar los empleos del sigloXXI¹², se presenta como una herramienta que contribuye a mirar al mundo con un nuevo paradigma: el pensamiento computacional. El pensamiento computacional es un proceso de resolución de problemas que posee técnicas de resolución de problemas y prácticas intelectuales generales. Conocer estas técnicas y prácticas beneficia más allá del campo de la informática, puesto que constituyen herramientas de carácter intelectual aplicables en todas las áreas. En el informe se propone que la alfabetización digital se trabaje en primaria y que la informática se inicie también en primaria, para continuar trabajándola en secundaria.

Es interesante destacar el motivo por el cual se ha elaborado este informe, ya que da argumentos para defender esta postura, y es que si no se incluye el estudio de la informática en el currículo, Europa acabará siendo una mera consumidora de tecnologías diseñadas, implementadas (software) y fabricadas (hardware) en otros lugares del mundo¹³.

En la elaboración del informe se revisó gran cantidad de material sobre la construcción de currículo de informática, además de diversas experiencias, llegando a la conclusión de que sí es posible enseñar informática en primaria y en secundaria. Las experiencias encontradas tienen dos principios fundamentales que se deberían seguir siempre en la enseñanza de la informática.

1. Por una parte, la enseñanza de la informática tiene un gran potencial para estimular la creatividad de los

estudiantes, que debería canalizarse para hacer cosas útiles (no destructivas).

2. Por otra parte, la enseñanza de la informática debe hacer énfasis en la calidad: no solo obtener software que sea correcto (en cuanto a su funcionalidad), sino hacer buenas interfaces y tener en cuenta las necesidades de los usuarios.

F. Otros documentos consultados

Además de los mencionados, hemos consultado otros documentos que no podemos detallar por falta de espacio. En concreto:

- Los resultados de una investigación llevada a cabo para evaluar el impacto de la política de innovación educativa, desarrollada por el Gobierno de Andalucía, mediante la implantación masiva en las aulas de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en centros de enseñanza de Primaria y Secundaria (Centros TIC)¹⁴.
- El libro *Tratamiento de la información y competencia digital*¹⁵, en el que se discute qué son el tratamiento de la información y la competencia digital, cómo se concreta esta competencia en los actuales currículos de primaria y secundaria y cómo articular la competencia digital en la práctica educativa.
- El informe¹⁶ de Francisco José Martínez López en el que defiende la necesidad de definir unas competencias digitales que debería poseer todo ciudadano.
- El texto de Jeannette M. Wing [11] en el que define lo que llama pensamiento computacional. De hecho, existe una asociación denominada *CSTA*¹⁷ (*Computational Thinking Task Force*) cuyo propósito es velar por el desarrollo del pensamiento computacional y explorar y diseminar la enseñanza y el aprendizaje de recursos relacionados. Caspersen y Nowack también defienden en un artículo aceptado pero aún no

¹² La informática juega el mismo papel propiciador en la sociedad de la información como lo jugaron las matemáticas y la física en la revolución industrial.

¹³ Por ejemplo, India ha hecho una fuerte inversión en formar expertos informáticos, su industria del software ha pasado de la nada, a producir 80 billones de euros anuales.

¹⁴ <http://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/6371>

¹⁵ J. Vivancos Martí (2008). Madrid, Alianza.

¹⁶ <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2898369.pdf>

¹⁷ <http://csta.acm.org/Curriculum/sub/CompThinking.html>

publicado¹⁸ la necesidad de incorporar el pensamiento digital en las escuelas.

- Finalmente, la *Royal Society*¹⁹ ha impulsado un proyecto en el Reino Unido para analizar la forma en que la informática se enseña en las escuelas. El resultado se presenta en un informe final cuyo título no puede ser más claro: *Shut down or restart?: The way forward for computing in UK schools*.

IV. EL MARCO EN OTROS PAÍSES FUERA DE LA UNIÓN EUROPEA

En esta sección se describe la situación en la que se encuentran otros países en el tema denunciado por la declaración. Pensamos que es interesante, para la elaboración de la declaración, disponer de información sobre cuál es el marco en algún referente fuera de la Unión Europea.

A. Israel

Israel aprobó y puso en marcha en 1998 un temario de informática para educación secundaria [2]. Se incluyen temas conceptuales y prácticos, con énfasis en los algoritmos y usando la programación como medio de que el ordenador pueda ejecutar los algoritmos. En 2010 se ha actualizado el temario.

Conscientes de ser pioneros en la enseñanza de informática en educación secundaria, y basándose en su experiencia, proponen un modelo para la educación de informática en educación secundaria [4]. En resumen, consta de cuatro componentes:

- Un temario bien definido (incluyendo libros de texto y guías para profesores).
- Requisito de una acreditación en enseñanza de la informática para poder ser profesor.
- Programas de preparación de los profesores.
- Investigación en enseñanza de la informática.

A esos elementos, los autores añaden posteriormente la existencia de un centro nacional de formación de estos profesores [5, cap. 5]. Se

han desarrollado todos estos puntos, de los que comen-tamos brevemente los que quizá sean más sorprendentes desde la perspectiva española.

En cuanto a la formación de profesores, se les exige tener un Grado en Informática más un diploma para la enseñanza de la informática. Este diploma puede obtenerse mediante un curso específico. Existe material detallado explicando cómo poner en marcha un curso de acreditación [5].

La comunidad israelí ha considerado fundamental investigar sobre lo adecuado de sus enseñanzas, lo cual ha dado lugar a una gran variedad de resultados. Así, encontramos investigaciones sobre temas tan variados como la recursividad [6], eficiencia de algoritmos [3] o, ahora que está de moda, el uso del lenguaje *Scratch* [7].

B. Estados Unidos

La principal ley federal de EEUU sobre educación es la ley “*No Child Left Behind*”. Esta ley declara que todos los profesores deben estar altamente cualificados, salvo en áreas no obligatorias, entre las cuales está la informática [10]. Por tanto, los institutos no suelen darle la misma importancia que a otras áreas. Su implantación depende de cada estado y no hay orientaciones federales. Algunas asociaciones han establecido orientaciones, como la *Computer Science Teachers Association* (CSTA) en coordinación con ACM, o la *National Association for Educational Progress* (NAEP). De hecho, el único estándar de facto son los exámenes *Advanced Placement* (AP). Actualmente, acuden a los mismos alumnos de 23.000 centros de todo el país. El examen es casi exclusivamente de programación con Java.

C. Otros países

El gobierno de Nueva Zelanda aprobó en 2009 la puesta en marcha de una asignatura sobre “Tecnologías digitales” para los tres últimos cursos de bachillerato [1]. A pesar de su nombre, los contenidos van en la misma línea que las demás iniciativas aquí presentadas.

V. DECLARACIÓN AENUI-CODDII

En esta sección se incluyen las recomendaciones que se ha juzgado oportuno realizar a las autoridades competentes para incluir competencias sobre ciencia y tecnología informática en el

¹⁸ <http://www.cs.au.dk/~mec/publications/conference/41--ace2013.pdf>

¹⁹ <http://royalsociety.org/education/policy/computing-in-schools/>

currículo básico de secundaria y bachillerato. La declaración comienza con una introducción que coincide exactamente con el resumen incluido al principio de este artículo.

A. Recomendación 1

La Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE) contempla diversas asignaturas de tecnología en los currículos de Secundaria y Bachillerato, pero por ser de la categoría de específicas (y no troncales) deja a elección del centro la posibilidad de ofertarlas o no. Consideramos imprescindible que todas las asignaturas de tecnología sean ofertadas por los centros públicos, concertados o privados.

B. Recomendación 2

Todos los estudiantes deben de tener una formación que garantice la adquisición de competencias relacionadas con la ciencia y la tecnología informática. Las habilidades adquiridas como usuario de la informática son necesarias, pero también lo son las relacionadas con la ciencia y tecnología informática, que aportan beneficios como la estructuración de la mente y la mejora en la manera de razonar, útiles para la totalidad del alumnado independientemente de su itinerario o modalidad académica. Por ello, consideramos que el currículo de ciencia y tecnología informática debería ser cursado por la totalidad de los estudiantes.

C. Recomendación 3

Para conseguir una implantación eficaz de los contenidos relativos a ciencia y tecnología informática es absolutamente necesaria y urgente la formación del profesorado en este ámbito. Del mismo modo, sería de gran utilidad la implicación de profesores o profesionales expertos en el tema que proporcionen contenidos (ejercicios, proyectos, actividades, ejemplos, etc.) que puedan ser usados por los profesores de secundaria y bachillerato en sus asignaturas.

D. Recomendación 4

Además de potenciar en los centros educativos las asignaturas específicas de tecnología, las competencias relacionadas con ciencia y tecnología informática se pueden desarrollar de forma transversal en otras asignaturas que no sean de tecnología. Quizá con ciertas disciplinas, como

pueden ser las matemáticas, existe mayor afinidad, pero es posible aplicar la ciencia y tecnología Informática en cualquiera de las áreas de conocimiento de Secundaria y Bachillerato.

E. Recomendación 5

Los centros educativos son los responsables de transmitir y orientar a los alumnos sobre la importancia de la tecnología, y en particular de las Tecnologías de la Información. Sin su apoyo no conseguiremos fomentar las vocaciones en ingeniería. En esta línea, sería deseable promover actividades escolares (talleres) relacionadas con la tecnología. A modo de ejemplo, los campos de la robótica, la programación de videojuegos o la programación de aplicaciones móviles ofrecen una estupenda oportunidad para aprender y motivar a los alumnos en esta disciplina.

VI. CONCLUSIONES

Hemos presentado la “declaración AENUI-CODDII por la inclusión de asignaturas específicas de ciencia y tecnología informática en los estudios básicos de la enseñanza secundaria y bachillerato” y su proceso de elaboración. La elaboración de la declaración nos ha permitido realizar una actualización, quizá no exhaustiva pero sí importante, de la documentación en el área de las competencias digitales y la ciencia y tecnología informática.

Creemos que los diferentes perfiles de los componentes del grupo de trabajo (AENUI, CODDII y SCIE) han enriquecido el resultado final.

Finalmente, consideramos de vital importancia conseguir la máxima difusión de la declaración para sensibilizar al entorno educativo y a la sociedad de los beneficios que aporta la inclusión de la ciencia y tecnología informática en el currículo de secundaria y bachillerato. Este es el motivo principal de la presentación de esta ponencia en las Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática.

REFERENCIAS

- [1] T. Bell, P. Andreae y L. Lambert. Computer science in New Zealand high schools. En Proc. 12th Australasian Computing Education Conference, ACE 2010, pp. 15-22. J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magn

- etism,3rded.,vol.2.Oxford:Clarendon,1892,pp.68–73.
- [2] J. Gal-Ezer y D. Harel. Curriculum for high school computer science curriculum. *Computer Science education*, 9(2):114-147, 1999.
- [3] J. Gal-Ezer y E. Zur. The efficiency of algorithms misconceptions. *Computers & Education*, 42(3):215-226, 2004.
- [4] O. Hazzan, J. Gal-Ezer. y L. Blum. A model for high school computer science education: The four key elements that make it! En Proc. 39th Technical Symposium on Computer Science Education, SIGCSE 2008, pp. 281-285.
- [5] O. Hazzan, T. Lapidot y N. Ragonis. *Guide to Teaching Computer Science: An Activity-Based Approach*. Springer-Verlag, 2011.
- [6] D. Levy y T. Lapidot. Recursively speaking: Analyzing students' discourse of recursive phenomena. En Proc. 31st Technical Symposium on Computer Science Education, SIGCSE 2000, pp. 315-319.
- [7] O. Meerbaum-Salant M. Armoni y M. Ben-Ari. Learning computer science concepts with Scratch. En Proc. 5th International Workshop Computing Education Research Workshop, ICER 2010, pp. 69-76.
- [8] N. Ragonis. Computing pre-university: Secondary level computing curricula. En *Encyclopedia of Computer Science and Engineering*, B.W. Wah (eds.), John Wiley & Sons, 2009, pp. 632-648.
- [9] Miguel Romero, Aurora Vizcaíno, Mario Piattini. Competencias para desempeñar la labor de captura de requisitos en un entorno de desarrollo global del software. Jenui 2008.
- [10] C. Wilson and P. Harsha. IT policy - The long road to computer science education reform. *Communications of the ACM*, 52(9):33-35, september 2009.
- [11] Jeannette M. Wing. *Communications of the ACM*. March 2006/Vol. 49, No. 3. <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/usr/wing/www/publications/Wing06.pdf>.
- [12] Departament d'Ensenyament. Generalitat de Catalunya. Competències bàsiques en l'àmbit digital. Identificació i desplegament a l'educació primària. Servei de Comunicació i Publicacions, noviembre de 2013.
- [13] Departament d'Ensenyament. Generalitat de Catalunya. Competències bàsiques en l'àmbit digital. Identificació i desplegament a l'educació secundària obligatòria. Servei de Comunicació i Publicacions, noviembre de 2013.
- [14] Informatics Europe & ACM Europe Working Group on Informatics Education. *Informatics education: Europe cannot afford to miss the boat*. April 2013.



Xavi Canaleta (Barcelona, 1968) es licenciado en Informática por la Universitat Politècnica de Catalunya en 1997 y Diploma de Estudios Avanzados por la Universitat Ramon Llull en 2010. Se ha especializado en los campos de la programación y sistemas operativos así como en la formación del profesorado en la especialidad de tecnología e innovación docente.

Desde 1990 hasta el 2001, ha sido profesor de secundaria y bachillerato en el colegio de La Salle Gracia de Barcelona, ejerciendo también como jefe del departamento de matemáticas. Desde 2001 a 2015 está como profesor e investigador en el Departamento de Ingeniería de La Salle, Universitat Ramon Llull. Desde el 2009 es el coordinador del Máster Universitario de Formación del Profesorado, especialidad Tecnología y Coordinador del Grado en Ingeniería Informática. En el campo de la investigación ha centrado su trabajo en temas de TIC e innovación docente y evaluación por competencias, donde ha publicado diversos artículos científicos y divulgativos en los últimos 6 años. También dirige un proyecto de cooperación universitaria para el desarrollo en Perú.



Fermín Sánchez (Barcelona, 1962) es Técnico Especialista en Electrónica Industrial por la E.A. SEAT (Barcelona, España, 1981), Licenciado en Informática desde 1987 y Doctor en Informática desde 1996, los dos últimos títulos obtenidos en la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC BarcelonaTech, Barcelona, España). Su campo de estudio es la arquitectura de computadores y la innovación docente.

Desde 1987 trabaja como profesor en el Departament d'Arquitectura de Computadors de la UPC, donde es profesor Titular de Universidad desde 1997. Ha sido consultor de la Universitat Oberta de Catalunya (UOC) desde 1997 hasta 2010 y vicedecano de innovación de la Facultat d'Informàtica de Barcelona (FIB) desde mayo de 2007 hasta junio de 2013. Desde julio de 2013 ocupa el cargo de adjunto de innovación en el decanato de la FIB. Tiene varias decenas de publicaciones relacionadas con sus temas de investigación, es revisor de numerosas conferencias y revistas nacionales e internacionales y autor y coautor de varios libros y capítulos de libro. Actualmente trabaja en el desarrollo de nuevas arquitecturas multihebra para procesadores VLIW, la sostenibilidad en las Tecnologías de la Información y la innovación en la educación universitaria.

El Dr. Sánchez es miembro de AENUI, es miembro del Comité Directivo de JENUI desde septiembre de 2006 y ha sido su presidente las ediciones 2011-2013, ha sido miembro del Comité de Organización y Programa de diversas conferencias y otros eventos nacionales e internacionales, es miembro de la ONG TxT (Tecnología per Tothom) desde 2004, director del MAC (Museo de Arquitectura de Computadores) desde Febrero de 2006 y miembro de la junta directiva del Cercle Fiber-FIB Alumni desde Noviembre de 2002.



Inés Jacob (Bilbao, 1967), doctora en Informática, es profesora titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Deusto donde desempeña su labor docente en el área de programación del departamento de Ingeniería Informática. Después de unos años de investigación en el campo de la lingüística computacional últimamente sus contribuciones se han producido en el ámbito de la enseñanza universitaria de la informática, centrada en el aprendizaje por adquisición de competencias.

Es miembro del equipo de investigación Innova en el ámbito de la educación universitaria, reconocido por el Gobierno Vasco como Grupo de Investigación del Sistema Universitario Vasco, y coordinadora de la Cátedra Telefónica - Deusto de Nuevas Tecnologías y Educación.

Es miembro de AENUI, la Asociación de Enseñantes Universitarios de la Informática, y de la CODDII - Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática desde cuya directiva coordina las aportaciones de la asociación a la enseñanza universitaria de la informática.



J. Ángel Velázquez 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).



Mercedes Marqués (Valencia, 1965) es Licenciada en Informática por la Universidad Politécnica de Valencia (1990) y Doctora en Informática por la Universitat Jaume I de Castelló (2010).

Es Profesora Titular de Universidad en el Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Computadores (ICC) de la Universitat Jaume I de Castelló, en la que imparte clases desde 1993. Ha publicado más de 20 artículos sobre docencia, ha dirigido diversos proyectos de innovación educativa y lidera el Seminario Permanente de Innovación Educativa sobre Eficiencia Docente en Informática, dedicado a la práctica reflexiva de la docencia. Además, ha impartido varios cursos de formación para profesorado universitario y de enseñanza secundaria.

Es miembro de AENUI, la Asociación de Enseñantes Universitarios de la Informática y obtuvo el Premio a la Excelencia Docente Universitaria correspondiente al curso 2011-2012 en la Universitat Jaume I de Castelló.

Página en Blanco

Capítulo 5

Evaluando la inclusión de elementos que afectan a la percepción en materiales multimedia dirigidos a alumnos de Educación Primaria

Óscar Navarro
Equipo de Orientación
CEIP San José de Calasanz
Ciudad Real, España
oscarnavarromartinez@gmail.com

Ana Isabel Molina
Dep. Tecnologías y Sistemas Inf
E.S. Informática de Ciudad Real
Universidad Castilla-La Mancha
Ciudad Real, España
AnaIsabel.Molina@uclm.es

Miguel Lacruz
Departamento de Pedagogía
Facultad de Educación
Universidad Castilla-La Mancha
Ciudad Real, España
Miguel.Lacruz@uclm.es

Title– Assessing the inclusion of elements that affect perception in multimedia materials aimed at primary school students

Abstract– The current educational model requires an increasing use of multimedia materials in the teaching and learning process. Therefore, it is essential to focus on the design and development of these resources. The purpose of this research was to establish a number of design guidelines to develop multimedia resources for the Primary Education stage. Three experiments were conducted in which two different formats of presentation of contents were compared. We tested which were the most appropriate settings. Eye-tracking methodology was used. Once the data collected in the three experiments is analyzed, it is concluded that a higher efficiency in learning is achieved when less complex structures are used. Distractions that do not provide relevant information to the student are to be avoided since they affect the learning process to a greater or lesser extent.

Keywords – multimedia materials; eye tracking; evaluation; design guidelines; color, redundant information

Resumen– El actual modelo educativo demanda cada vez más la utilización de medios y materiales multimedia en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los alumnos. Por tanto será esencial enfocar la atención en el diseño y elaboración de estos recursos. El objetivo de la investigación fue proporcionar

pautas de diseño (*guidelines*) para la elaboración de recursos multimedia en la etapa de Educación Primaria. Se realizaron tres experimentos en los que fueron comparados dos formatos distintos de presentación de contenidos, para averiguar cuál era la configuración más apropiada. Se utilizó la técnica de seguimiento ocular (*eye tracking*). Una vez analizados los datos recopilados en los tres experimentos realizados, concluimos que hay una mayor eficiencia en el aprendizaje cuando son utilizadas estructuras visuales menos complejas, evitando distractores que no aportan información relevante y perjudican en mayor o menor medida el proceso de aprendizaje del alumno.

Palabras clave– materiales multimedia; eye tracking; evaluación; pautas de diseño; color; información redundante

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años estamos presenciando la gran importancia que tiene el desarrollo tecnológico en nuestro día a día. En todos los ámbitos se ha producido un gran avance tecnológico, también en Educación, donde es cada vez más necesario incorporar los recursos y materiales multimedia al proceso de enseñanza de nuestros alumnos. La utilización de elementos como las pizarras digitales, *netbooks* o internet en nuestra actividad docente exige una mejora en la elaboración de estos recursos. Estamos estos años en un periodo

de transición entre materiales educativos tradicionales (libros de texto) y la incorporación de nuevos soportes, como los libros digitales u otros materiales en formato electrónico [1].

El principal objetivo de la presente investigación es evaluar distintas configuraciones y formatos de presentación de materiales y recursos educativos multimedia. Para ello se han realizado tres experimentos para conocer la reacción, por parte de los niños, ante la inclusión de elementos distractores que pueden aparecer en una presentación multimedia. Dicha experiencia de evaluación sirve de base para la posterior definición de una serie de pautas de diseño de materiales educativos multimedia. Se realizó con anterioridad un estudio similar, pero con una muestra más pequeña [2].

Para la realización de este estudio nos hemos basado en los principios de aprendizaje multimedia de Richard Mayer [3], aunque nosotros nos referiremos al efecto de dicho aprendizaje en los niños y niñas de Educación Primaria (6 a 12 años). Evaluaremos en particular tres de los principios formulados por este autor. El Principio de la Señalización (*Signaling Principle*), el cual hace referencia a que los alumnos realizan un mejor aprendizaje cuando en los recursos educativos utilizados se añaden señales (por ejemplo, colores) que destacan los elementos más relevantes. El segundo principio considerado es el Principio de Coherencia (*Coherence Principle*), que plantea que los alumnos aprenden mejor cuando las palabras, imágenes y sonidos superfluos son excluidos de las presentaciones. Por último, el Principio de Redundancia (*Redundancy Principle*), indica que cuando se hace uso de distintos canales de información a la vez, se puede producir incremento de la carga cognitiva, lo cual no beneficia al proceso de aprendizaje. Los estudios realizados también se pueden relacionar con las Leyes de la Gestalt, en particular con el *principio de simplicidad*, que expone que los elementos tienden a percibirse del modo más simple que permitan las condiciones dadas [4].

Para la realización de los tres experimentos que se detallan en este artículo se han utilizado técnicas de seguimiento ocular (en inglés, *eye tracking*). Esta técnica hace referencia a un conjunto de tecnologías que permiten localizar el punto de atención de una persona, esto es, el área en la que

centra su mirada, en cada momento. De esta forma se puede saber en qué áreas fija más su atención, durante cuánto tiempo y qué orden sigue en su exploración visual. El dispositivo que se utiliza se denomina *eye tracker*. El *eye tracking* tiene un gran potencial de aplicación en una amplia variedad de disciplinas y áreas de estudio, desde el marketing y la publicidad hasta la investigación médica o la psicolingüística, pasando por los estudios de usabilidad [5]. En el campo educativo se han realizado menos estudios [6], aunque parece crecer el interés en esta línea de trabajo. La mayoría de investigaciones existentes se centran en las etapas de Educación Secundaria y Universitaria. En los últimos años, aunque en menor proporción, podemos encontrar trabajos realizados con alumnos de Educación Primaria e incluso de varios meses de vida [6,7,8]. Esta técnica permite registrar las *fijaciones* (puntos de estabilización de la mirada) que realiza un individuo al visualizar un contenido mostrado en una pantalla. A partir de dichas fijaciones se pueden calcular una serie de métricas que permitirán evaluar y comparar distintas configuraciones de los materiales mostrados. Para este estudio se hará uso del *número de fijaciones hasta que enfoca la mirada la primera vez* (FB) y el *tiempo hasta la primera fijación* (TFF) en una determinada zona de la pantalla (a la que llamamos *área de interés*, AOI), así como el *número total* (All-Sc) y la *proporción de fijaciones* (FC/All-Sc). Las AOIs son las partes de la pantalla que contienen la información más relevante o que, en el caso de los materiales educativos, se pretende transmitir. Para las dos primeras métricas (FB y TFF) se tendrán en cuenta para las imágenes, textos y teniendo en cuenta ambas.

Anteriormente se han realizado estudios en los que se analizaba la inclusión de información redundante en presentaciones, la cual puede distraer la atención del alumno e influir en su rendimiento académico, principalmente en el caso de estudiantes universitarios [9,10]. También encontramos algunos trabajos que valoran la inclusión de sonidos (audio) para favorecer la asimilación de contenidos por parte de los alumnos, más si cabe con edades como las consideradas en este trabajo (7 a 11 años). Asimismo, también se ha tratado la adquisición de conocimiento a través de múltiples canales, utilizando la descripción mediante archivos de audio con alumnos de edad similar [11] e incluso

la sustitución de textos escritos por otros hablados para contrastar su eficacia [12,13]. La evaluación de materiales con presencia (conjunta o separada) de textos e imágenes para mejorar el proceso de aprendizaje, también ha sido estudiada mediante técnicas de seguimiento ocular, desde estudios de Richard Mayer, con un carácter más teórico [14,15], hasta otros que corroboran dicho principios con alumnos de etapas educativas similares a los considerados en este artículo [7], posteriores [16,17], e incluso con preescolares [18]. Otro elemento disruptor puede ser el color. Según algunos autores, que estudian aspectos sobre la usabilidad, en una presentación multimedia es importante la utilización de colores que se diferencien claramente, que destaquen significativamente para poder distinguirlos por saturación, brillo y tono [4,19]. Si nos referimos a materiales educativos orientados a niños se recomienda el uso de colores primarios y cálidos [20]. Podemos encontrar otros estudios (con adultos), que emplean técnicas de seguimiento ocular, que analizan las posibilidades del uso del color para favorecer la búsqueda de información relevante en contenidos en los que se incluye texto y/o ilustraciones [21,22].

II. ESTUDIO EMPÍRICO

En el presente artículo se describe un estudio empírico que pretende analizar y valorar la presentación de contenidos multimedia en distintos formatos con alumnos de la etapa de Educación Primaria, para averiguar si se produce una mayor eficiencia en la retención de contenidos si éstos se presentan con ausencia de elementos disruptivos y distractores.

Dicha investigación se llevó a cabo en el C.P San José de Calasanz de Tomelloso (Ciudad Real). La dirección del centro y los tutores de segundo y sexto curso de Educación Primaria colaboraron en estas prácticas. Se escogieron estos dos cursos porque constituyen dos momentos evolutivos muy representativos de la Educación Primaria, con diferencias psicoevolutivas y de desarrollo muy marcadas, que no están tan delimitadas en otros niveles. Se ha evitado el primer curso de esta etapa, dado que las destrezas lingüísticas pueden presentar mucha diversidad, mientras que en segundo hay más uniformidad al respecto.

La experimentación realizada consta de tres estudios. El planteamiento metodológico

experimental es muy similar, y se describe en las siguientes subsecciones. A continuación se comentará, de forma individual, los aspectos más específicos de cada uno.

A. *Participantes*

En estos experimentos han participado 89 alumnos de Educación Primaria, 47 de segundo curso ($M = 7,55$, $SD = 0,29$) y 42 de sexto ($M = 11,72$, $SD = 0,41$). Se realizaron pruebas con anterioridad para que las presentaciones tuvieran la duración y estructura adecuada. Dadas las características evolutivas de los alumnos de segundo curso y sus dificultades para mantener la atención, fue necesario un mayor ajuste del tiempo de presentación destinada a dicho grupo de alumnos.

B. *Material educativo*

Las presentaciones mostradas a los alumnos estaban compuestas por imágenes, texto y sonido elaborados con distinto *software* (Adobe Flash CS5, PowerPoint 2007, Gimp, Sound Forge 8.0b y Tobii Studio 3.0.5.301). Distintos materiales fueron elaborados en función de las características de cada uno de los tres experimentos.

Se utilizaron el Test de Felder [23] y el Test Breve de Kaufman (K-Bit) [24] para la formación de dos grupos homogéneos. También fue aplicado un cuestionario con preguntas abiertas sobre los conocimientos previos de los alumnos. A continuación los niños observaron en la pantalla toda la presentación, y terminaron realizando una actividad con la que se pretendía conocer el nivel de asimilación de los contenidos mostrados. Dichos contenidos están enmarcados en el anexo II del Real Decreto 1513/2006, de 7 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria. Concretamente los contenidos pertenecen al bloque de contenidos número tres del área de Matemáticas (Geometría), en el que se hace referencia a “la identificación y descripción de las formas planas, sus elementos, así como la situación en el plano de ángulos y giros, y el reconocimiento de regularidades y simetrías” [25]. Se pueden encontrar otros estudios que han centrado su trabajo en el área de Matemáticas [1,26], incluso alguno ha utilizado expresamente figuras geométricas [21].

C. Equipamiento y espacios utilizados

Las distintas pruebas se realizaron en las clases de sexto y segundo curso, el aula de apoyo y en el aula de Informática. Para el registro de datos se utilizó un dispositivo Tobii modelo X60, que requiere un *software* específico, Tobii Studio 3.0.5.301, necesario para la calibración, el diseño de la presentación, la recogida de datos y el posterior cálculo de las distintas métricas que recopilan información sobre las fijaciones que realizan los alumnos en la pantalla.

D. Diseño experimental

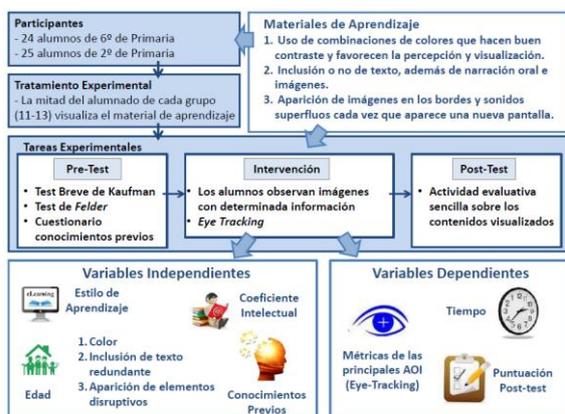


Fig. 1. Diseño del experimento 1

En la Figura 1 podemos ver el esquema seguido en las experiencias realizadas. Se realizó un proceso de muestreo, en el cual se ha utilizado el método de muestreo por cuotas” [27], dado que conocemos a los individuos de la población. Las características a partir de las cuales se realiza dicho proceso son el cociente intelectual y el estilo de aprendizaje. El primero se calculó mediante la aplicación del Test Breve de Kaufman (K-BIT). Se realizó individualmente, con una duración aproximada de quince minutos por alumno. Esta prueba permite la medida diferenciada de la inteligencia verbal y no verbal, muy útil en el ámbito clínico y escolar. Para averiguar el estilo de aprendizaje de los niños y niñas, se aplicó el Test de Felder en grupo. Las 44 preguntas fueron cumplimentadas adaptando el lenguaje a la edad de los alumnos (principalmente en segundo curso), y dando las explicaciones pertinentes en el caso de que algún alumno no comprendiera correctamente la pregunta. A partir de las dos pruebas realizadas (K-BIT y Test de Felder) fueron establecidas dos muestras homogéneas para cada uno de los cursos seleccionados (2º y 6º). El Grupo Experimental en

el que se aplican formatos con presencia de elementos distractores y el Grupo de Control con ausencia de dichos elementos. Más adelante se hace referencia a los Grupos 1 y 2 y se especifica en cada experimento si corresponden al Grupo de Control o Experimental.

Posteriormente, y ya de forma individual, los alumnos realizaron un cuestionario de conocimientos previos sobre los contenidos que iban a visualizar. Dicho cuestionario, como en otros estudios similares [7], consistió en preguntas abiertas en las que tenían que dibujar y escribir sus conocimientos sobre los contenidos que iban a estudiar a continuación. Al finalizar dicho cuestionario comenzó la fase de calibración del *eye tracker*, resultando ésta muy favorable en prácticamente todos los casos, obteniéndose medidas de calidad de muestreo superiores al 90%. Después de calibrar comenzó la presentación de contenidos en el monitor. Una vez finalizada la presentación de contenidos, los alumnos cumplimentaron el Posttest, para evaluar los conocimientos adquiridos durante la fase de observación. Las actividades propuestas tienen la misma estructura y características que las realizadas en el centro educativo, a las que están acostumbrados. Fueron dadas las indicaciones necesarias antes de presentar los materiales a los alumnos, siempre en el mismo orden, con un lenguaje y explicaciones sencillas y más claras para los alumnos de 2º, dado que su desarrollo evolutivo requiere un trato distinto que el dado a los niños y niñas de 6º curso.

En la Figura 1, comentada anteriormente, podemos ver las variables dependientes e independientes consideradas en la investigación. En los tres experimentos aparecen las mismas, excepto una, que en el primer experimento es el *color*, en el segundo la *inclusión de texto redundante* y en el tercero la *aparición de elementos disruptivos*.

II.1 Experimento 1

Esta primera práctica trata de evaluar el *uso del color* en la presentación combinada de imágenes y texto. Los alumnos del Grupo Experimental (Grupo 2) observaron una imagen en color, con combinaciones que hacen buen contraste, lo cual favorece la percepción y visualización de los contenidos por parte del alumno [4,19]. Fueron usados colores primarios y cálidos, más recomendables al crear contenidos dirigidos a

niños, frente a los tonos pastel, como los presentados para el Grupo de Control (Grupo 1) [20]. La hipótesis para este primer estudio es:

H₁: Se producirá una mayor eficiencia en la retención de contenidos si se incluye codificación con colores que hacen buen contraste.

Basándonos en la bibliografía de Richard Mayer, tendremos en cuenta el *Principio de la Señalización (Signaling Principle)* que hace referencia a la necesidad de agregar señales que resalten la organización de elementos relevantes. Plantearemos situaciones que tiendan a la sencillez y claridad para favorecer dicho aprendizaje (*principio de simplicidad Gestalt*). El bloque de contenidos al que se refieren los materiales mostrados en ambos niveles es el mismo, “*Interpretación y representación de las formas y la situación en el espacio*”. Sin embargo, dichos contenidos tienen distinta naturaleza debido que surgieron inconvenientes en la recogida de datos para el nivel de 6º de Educación Primaria y hubo que sustituir la presentación elaborada en un primer momento.

II.2 Experimento 2

Para la segunda práctica variaba la *inclusión de texto* en la presentación. En ambos casos fue incorporada una narración oral (*audio*) idéntica. Para el Grupo Experimental (Grupo 2) únicamente aparecen imágenes y narración oral. En cambio, para el Grupo de Control (Grupo 1) aparece otro elemento extra, un texto escrito que reproduce las mismas palabras que incluye la grabación de audio. La hipótesis para este experimento es:

H₂: Se producirá una mayor eficiencia en la retención de contenidos si éstos se presentan con imágenes y narración oral, en vez de imágenes, narración oral y texto escrito.

Recurriendo otra vez a la bibliografía de Richard Mayer, tendremos en cuenta el *principio de la Redundancia (Redundancy Principle)*. Según éste, la utilización de imágenes y narración oral (audio), favorecerá más el aprendizaje que si además se incluye texto escrito. Los contenidos trabajados son los mismos en ambos cursos, pero con un nivel de complejidad diferente. En 2º se usan imágenes y textos de mayor tamaño, mientras que en 6º se utilizan textos más extensos y con letra más pequeña, dado que han cursado cuatro cursos más

en la etapa de Primaria y han desarrollado más las destrezas lingüísticas.

II.3 Experimento 3

En esta práctica fue incluida como variable la aparición de elementos extraños, imágenes superfluas en el borde y sonidos cada vez que aparece la siguiente diapositiva. Para el Grupo Experimental (Grupo 2) aparecen estas imágenes superfluas, mientras que no es así para el Grupo de Control (Grupo 1). La hipótesis para este tercer experimento es:

H₃: Se producirá una mayor eficiencia en la retención de contenidos si éstos se presentan sin elementos disruptivos, en vez de aparecer con imágenes y sonidos superfluos.

Según el *principio de Coherencia (Coherence Principle)*, una presentación multimedia favorecerá el aprendizaje si se evita la aparición de elementos extraños. Igualmente, también señalaremos el *principio de simplicidad* de la Gestalt y, como en los casos anteriores, se tenderá a buscar formas simples, sin elementos disruptivos que puedan distorsionar o desviar la atención, como los sonidos o imágenes que no aportan información nueva en los bordes de la diapositiva.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

III.1 Experimento 1

El Grupo 2, Experimental (amarillo), representa en la Figura 2 a los alumnos a los que se les muestran imágenes y texto con una combinación de colores que hacen buen contraste, frente a los del Grupo 1, de Control (verde) cuya configuración dificulta la percepción por parte del alumno. Apreciamos una clara diferencia en el tiempo empleado por los niños y niñas de segundo curso para observar la pantalla. Utilizando el valor calculado por la *t de Student* con un nivel de significación de 0,05, obtenemos un valor de $t=1,82$ ($p=0,041$) en el tiempo empleado. Por tanto podemos afirmar que para el Grupo 2 se realiza la observación en un tiempo significativamente menor. La puntuación obtenida para segundo curso en el Posttest es superior para el Grupo 2. Pero al realizar los cálculos estadísticos se obtienen valores inferiores al valor crítico, por lo que afirmamos que no se encuentran diferencias significativas. En el caso de sexto curso obtenemos datos similares. El tiempo

utilizado por el Grupo 2 es significativamente menor, con un valor de $t=1,81$ ($p=0,039$). Los resultados del Posttest son prácticamente idénticos y no se aprecian diferencias significativas como sucedía en el caso anterior.

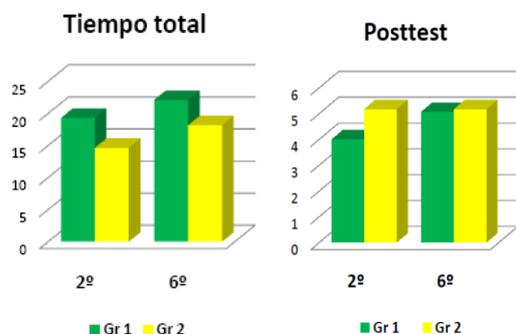


Fig. 2. Posttest y Tiempo Total. Experimento 1

Respecto a las métricas proporcionadas por el *eye tracker*, en segundo curso no hay diferencias significativas en la mayoría de las métricas. Se obtienen resultados similares en las fijaciones antes de enfocar la mirada en un AOI (FB), el número de todas las fijaciones en la pantalla (All-Sc) y la proporción de fijaciones en un AOI (FC-T/All-Sc). Sin embargo, sí podemos afirmar que para el Grupo 2 es menor la duración antes de centrar la mirada en las AOIs (TFF), tanto en total, en imágenes y en textos con unos valores de la *t de Student* de $t=1,68$ ($p=0,054$), $t=1,33$ ($p=0,096$) y $t=1,44$ ($p=0,081$) respectivamente. Pero sólo podemos hacer estas afirmaciones con un nivel de significación de 0,1. En sexto curso también encontramos una métrica sin diferencias significativas, la proporción de fijaciones en un AOI (FC-T/All-Sc). Sí encontramos que es menor para el Grupo 2 la duración (TFF) y el número de fijaciones (FB) antes de centrar la mirada en las AOIs, tanto en el total, imágenes y texto, aunque con distintos nivel de significación. Para el tiempo empleado hasta la primera fijación en textos (TFF-tx) obtenemos unos valores de $t=1,72$ ($p=0,047$), y el número de fijaciones antes de enfocar la mirada en las imágenes (FB-im) y en total (FB-all), con $t=1,80$ ($p=0,043$) y $t=1,81$ ($p=0,043$). Todas ellas con un nivel de significación de 0,05. Respecto al tiempo empleado hasta la primera fijación en imágenes (TFF-im) y en total (TFF-all) obtenemos unos valores de $t=1,67$ ($p=0,055$) y $t=1,58$ ($p=0,066$) respectivamente, y el número de fijaciones antes de enfocar la mirada en los textos (FB-tx), con $t=1,43$ ($p=0,08$). Estas últimas tres

métricas con un nivel de significación de 0,1 únicamente. Por último, también se registran un menor número de todas las fijaciones en la pantalla (All-Sc) para el Grupo Experimental, con $t=1,41$ ($p=0,084$).

La primera conclusión a la que podemos llegar al analizar los resultados es que fueron obtenidas puntuaciones similares en el Posttest, tanto en segundo como en sexto curso, pero en menos tiempo en el caso del Grupo Experimental (el que observa un formato con imágenes y colores que hacen un mejor contraste), lo cual favorece la retención de contenidos, tal y como se ha enunciado en la hipótesis inicial. Por lo tanto, en ambos niveles educativos, se consiguió una mayor eficiencia en el aprendizaje, tal como enuncia el Principio de Señalización de Mayer. Estos resultados fueron confirmados en mayor o menor medida al revisar las métricas registradas por el *eye tracker*. Para los alumnos de segundo curso, el Grupo 2 (Experimental) centra la mirada en un tiempo inferior en las AOIs. Para sexto curso apreciamos una tendencia similar. Los alumnos del Grupo Experimental en este caso centran su atención en menos tiempo y con un número menor de fijación en las AOIs. Asimismo, el número total de fijaciones en la pantalla es menor para el Grupo 2. Estos datos indican una mayor eficiencia en la búsqueda de las áreas de interés en ambos niveles educativos. Sin embargo en segundo curso sólo podemos hacer esta afirmación con un nivel de significación de 0,1 y en sexto hay varias métricas más que confirman la eficiencia. Por tanto, la utilización de colores que hacen un mejor contraste tendrá una mayor influencia cuando se utilizan con los alumnos de sexto curso.

III.2 Experimento 2

El Grupo 2, de Control (amarillo), representa en la Figura 3 a los alumnos a los que se les muestran únicamente imágenes y narración oral, frente a los del Grupo 1, Experimental (verde) cuya configuración incluye además texto escrito redundante. El tiempo empleado por los niños y niñas del Grupo 1 de segundo curso para observar la pantalla es mayor. Utilizando el valor calculado por la *t de Student* con un nivel de significación de 0,01, obtenemos un valor de $t=2,62$ ($p=0,006$). La puntuación obtenida para segundo curso en el Posttest es prácticamente idéntica, confirmado al realizar los cálculos estadísticos, pues no

aparecieron diferencias significativas. Respecto a sexto curso, se obtuvieron datos similares. El tiempo utilizado por los alumnos del Grupo 1 también es mayor, con un valor de $t=2,025$ ($p=0,025$). En cuanto a los resultados del Posttest, son ligeramente inferiores para Grupo 2, sin embargo no se encuentran diferencias significativas cuando calculamos el valor de la t de Student.

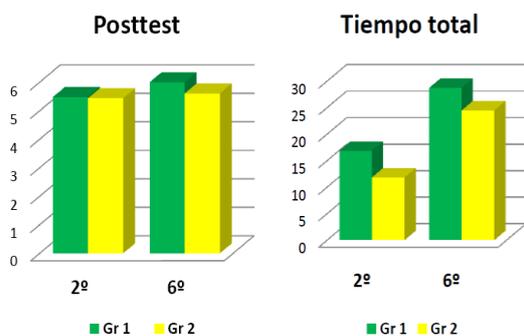


Fig. 3. Posttest y Tiempo Total. Experimento 2

Respecto a las métricas que nos proporciona el *eye tracker*, en ambos cursos observamos algunas métricas que podrían indicar valores favorables para el Grupo Experimental (Grupo 1), al cual fue mostrado texto redundante. Éstas son el tiempo empleado (TFF-T) y el número de fijaciones (FB-T) a una AOI antes de la primera fijación, para segundo curso, y la proporción de fijaciones en las AOIs (FC-T/All-Sc) en ambos niveles educativos. Sin embargo son valores esperados al contar la presentación del Grupo 1 con dos áreas de interés frente a una sola para el Grupo 2. Para segundo curso, los alumnos del Grupo 2 utilizan menos tiempo (TFF-Im) y menos fijaciones (FB-Im) hasta que observan las imágenes por primera vez, con $t=2,46$ ($p=0,01$) y $t=2,65$ ($p=0,007$) respectivamente. Además, para este Grupo 2 es menor el número de todas las fijaciones en la pantalla (All-Sc), con $t=3,72$ ($p<0,001$), y mayor la proporción de fijaciones en las imágenes (FC-T/All-Sc), con $t=5,56$ ($p<0,001$). Los resultados son similares, pero más concluyentes para sexto curso, presentando diferencias en más métricas y en casi todas con un nivel de significación de 0,01. Los alumnos del Grupo 2 también utilizan menos tiempo (TFF-Im) y menos fijaciones (FB-Im) hasta que miran las imágenes por primera vez, con $t=5,26$ ($p<0,001$) y $t=5,28$ ($p<0,001$) respectivamente. Pero incluso es menor el tiempo (TFF-T) y número de fijaciones (FB-T) hasta la

primera fijación en todas las AOIs, a pesar de haber menos áreas de interés, con $t=2,73$ ($p=0,005$) y $t=2,28$ ($p=0,015$), esta última con un nivel de significación de 0,05. Como sucedía con segundo curso, para el Grupo 2 es menor el número de todas las fijaciones en la pantalla (All-Sc), con $t=4,05$ ($p<0,001$), y mayor la proporción de fijaciones en las imágenes (FC-T/All-Sc), con $t=5,08$ ($p<0,001$).

La primera conclusión a la que podemos llegar al analizar los resultados es que fueron obtenidas puntuaciones similares en el Posttest, tanto en segundo como en sexto, pero en menos tiempo en el caso del Grupo de Control (el que únicamente observa imágenes y escucha narración oral, sin texto redundante). Por lo tanto, en ambos niveles educativos se consigue una mayor eficiencia en el aprendizaje, tal como enuncia el Principio de la Redundancia de Mayer. Estos resultados se confirman al revisar las métricas registradas por el *eye tracker*. Para los alumnos de segundo curso, el Grupo 1 realiza una búsqueda más eficiente en el caso de las imágenes, confirmado al realizarse un menor número de fijaciones totales. Para sexto curso los resultados muestran una mayor eficiencia para el Grupo 1 con un nivel de significación más alto, incluso teniendo en cuenta todas las áreas de interés, no sólo las imágenes. También se refleja esta eficiencia en el número y la proporción de fijaciones. Por tanto la configuración en la que se incluye texto redundante que no aporta información nueva es menos eficiente. En el Posttest se ha obtenido una puntuación ligeramente superior para el Grupo 1, posiblemente porque se ha aportado una información extra, sin embargo no se aprecian diferencias significativas.

III.3 Experimento 3

El Grupo 1, de Control (verde) representa en la Figura 4 a los alumnos a los cuales se muestran imágenes y texto, frente a los del Grupo 2, Experimental (amarillo), cuya configuración incluye imágenes y sonidos superfluos. Se aprecia diferencia en el tiempo empleado por los niños y niñas de segundo curso para observar la pantalla. Utilizando el valor calculado por la *t de Student* con un nivel de significación de 0,05, obtenemos un valor de $t=1,89$ ($p=0,033$) en el tiempo empleado. Por tanto afirmamos que para el Grupo 1 se realiza la observación en un tiempo significativamente menor. La puntuación obtenida

para segundo curso en el Posttest es ligeramente superior para el Grupo 1, aunque bastante similar. Después de realizar los cálculos estadísticos no se encuentran diferencias significativas. Para sexto curso se obtienen datos idénticos. El tiempo utilizado por los alumnos del Grupo 1 es menor, con valores de $t=2,96$ ($p=0,003$). Los resultados del Posttest son ligeramente superiores para el Grupo 1, aunque igual que en el otro nivel educativo, no se encuentran diferencias significativas.

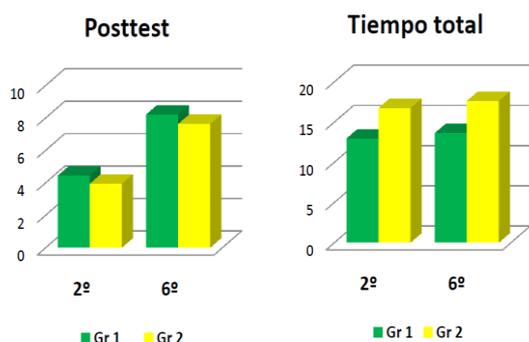


Fig. 4. Posttest y Tiempo Total. Experimento 3

En cuanto a las métricas registradas por el *eye tracker*, en segundo curso se observa que es menor el tiempo empleado hasta la primera fijación (TFF) y el número de fijaciones antes de enfocar la mirada (FB) en el caso de los textos y el total. Con un nivel de significación de 0,05 el número de fijaciones previas con $t=1,85$ ($p=0,036$). El tiempo antes de centrar la mirada en los textos, $t=3,15$ ($p=0,002$), y en total, $t=2,72$ ($p=0,005$), así como el número de fijaciones antes de ver el texto, con $t=3,01$ ($p=0,002$), se puede afirmar con un nivel de significación de 0,01. El número total de fijaciones en pantalla (All-Sc) es menor para el Grupo 1 con $t=2,49$ ($p=0,008$), también con un nivel de significación de 0,01. En sexto curso se observa que no hay diferencias significativas en el tiempo empleado hasta la primera fijación (TFF) y el número de fijaciones antes de enfocar la mirada (FB), tanto en imágenes, textos o en el total. Sí apreciamos que es menor el número de fijaciones totales para el Grupo 1 (All-Sc) con un nivel de significación de 0,01 y valores de $t=3,18$ ($p=0,002$). También la proporción de fijaciones en un AOI (FC-T/All-Sc) es mayor para el Grupo 1 con $t=1,421$ ($p=0,082$), aunque sólo lo podemos afirmar con un nivel de significación de 0,1.

La primera conclusión a la que podemos llegar al analizar los resultados es que se obtienen

puntuaciones ligeramente mayores, pero sin diferencias significativas en el Posttest, tanto en segundo como en sexto. Sin embargo, se dedica menos tiempo en el caso del Grupo 1 (de Control), por lo que se consigue una mayor eficiencia en el aprendizaje cuando no se incluyen imágenes y sonidos superfluos, confirmando el Principio de Coherencia de Mayer. Respecto a las métricas registradas por el *eye tracker*, los alumnos de segundo curso enfocan antes la mirada en las AOI, lo cual muestra una mayor eficiencia en la búsqueda, principalmente en los textos. Además con un nivel de significación muy alto. También observamos que el Grupo Experimental realiza aproximadamente un 50% más de fijaciones totales en pantalla, reflejando una menor eficiencia que para el Grupo de Control. En sexto curso sólo se puede confirmar esta eficiencia en el número de fijaciones y en la proporción de las mismas en las AOI, aunque a un nivel de significación bajo, en el caso de esta última. Por tanto, podemos afirmar que la inclusión de elementos superfluos en una presentación resta eficiencia en ambos niveles educativos, aunque con una mayor relevancia en segundo curso y principalmente en la observación de los textos. Es un resultado esperado, pues en los primeros años de la etapa de Educación Primaria los niños se distraen y tienen mayor dificultad para la comprensión de textos que en sexto, donde no se han observado importantes diferencias.

IV. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Una vez analizados los resultados de los tres experimentos podemos concluir que la aparición de elementos distractores reduce la eficiencia en el aprendizaje. Ya sea por el empleo de colorido no adecuado, exposición de información textual innecesaria o la inclusión de de sonidos e imágenes superfluos (cuyo objetivo en muchas ocasiones es puramente estético), se puede perjudicar la retención de los contenidos, entre otras cosas, porque se necesite más tiempo para la observación (y asimilación) de los contenidos visualizados en pantalla. La atención se centra más tarde en la mayoría de los casos, generando un número mayor de fijaciones, en las versiones en las que se incluyen elementos distractores. Todo ello perjudica la eficiencia en la búsqueda de las áreas que tienen mayor interés para el alumno (es decir, aquellas que contienen los contenidos a asimilar). También en estos casos se producen un mayor

número de fijaciones totales en pantalla y una proporción menor, lo cual viene a confirmar que la localización (y la consiguiente retención) de los contenidos se podría hacer de forma más eficiente. Estos resultados son similares a los obtenidos en otros estudios consultados en la bibliografía. Hemos comprobado empíricamente que los tres principios de Mayer mencionados se cumplen en mayor o menor medida, con ciertos matices para cada uno de los experimentos y para cada uno de los cursos que intervienen en esta investigación.

Una vez revisados los tres experimentos podemos ofrecer unas primeras pautas (o *guidelines*), aplicables en el diseño de contenidos multimedia dirigidos a alumnos de Educación Primaria, y relativas a la inclusión de elementos que pueden distraer la atención y perjudicar una correcta asimilación de los contenidos. Estas pautas son:

- Se recomienda, en el caso de materiales educativos multimedia dirigidos a alumnos de Educación Primaria, la utilización de colores primarios y cálidos, que hagan buen contraste, y que permitan diferenciar mejor las imágenes y textos, frente a tonos pastel, cuyo uso es menos aconsejable en estas edades.

En los experimentos se ha observado que en el caso de los alumnos de sexto curso se consigue una mayor eficiencia en la búsqueda (tanto de las imágenes como de los textos).

- Se recomienda, en el caso de materiales educativos dirigidos a alumnos de Educación Primaria, no incluir texto redundante en las presentaciones, pues su uso puede afectar negativamente a la localización de los elementos más relevantes (aquellos que contienen los conceptos a asimilar).

En ambos niveles educativos se ha comprobado empíricamente que se consigue una mayor eficiencia si se excluye el uso de texto extra, siendo mayor el efecto en el caso de los alumnos de sexto curso.

- Se recomienda, en el diseño de materiales educativos multimedia orientados a con alumnos de Educación Primaria, evitar la utilización de elementos distractores (como imágenes innecesarias en los bordes o sonidos superfluos) que desvíen la atención de las áreas de mayor interés.

Se ha podido verificar en los experimentos realizados que se consigue una mayor eficiencia en ambos niveles educativos, siendo más evidente en el caso de los alumnos de segundo curso, y principalmente en la observación de textos.

En estudios futuros puede ser de interés ampliar esta línea de investigación con otros experimentos en los que se evalúe la inclusión de otros elementos distractores, que pueden influir en la percepción de los niños, tales como *banners* (formato publicitario visual en internet) o un *layout* (posicionamiento de los elementos) inadecuado en pantalla.

REFERENCIAS

- [1] Andrà C., Arzarello F., Ferrara F., Holmqvist K., Lindström P., Robutti O., Sabena C., "How students read mathematical representations: an eye tracking study", Proceedings of the 33rd Conference of the Intern.Group Psyc. of Math. Educ., Vol. 2, pp. 49-56, 2009.
- [2] Navarro, Ó., Molina, A.I., Lacruz, M., "Una experiencia de evaluación de diseños de materiales educativos multimedia en Educación Primaria", in Acceso masivo y universal para un aprendizaje a lo largo de la vida, Logroño, UNIR, pp. 239-246, 2014.
- [3] Mayer R.E., "The Cambridge handbook of multimedia learning", Cambridge University Press, 2005.
- [4] Ware C., "Visual thinking for design", Burlington: Morgan Kaufmann, pp. 65-85, 2008.
- [5] Hassan, Y., Herrero, V., "Eye-Tracking en Interacción Persona-Ordenador", No sólo Usabilidad, 2007.
- [6] Mayer, R.E., "Unique contributions of eye-tracking research to the study of learning with graphics", Learning and Instruction, Vol. 20, pp. 167-171, 2010.
- [7] Mason L., Tornatora M.C., Pluchino P., "Do fourth graders integrate text and picture in processing and learning from an illustrated science text? Evidence from eye-movements patterns", Computers and Education, Vol. 60, pp. 95-109, 2013.
- [8] Sim G., Cassidy B., Read J.C., "Understanding the fidelity effect when evaluating games with children", Proceedings of the 12th Int. Conference on Interaction Design and Children, pp. 193-200, 2013.
- [9] Liu H., Lai M., Chuang H., "Using Eye-tracking technology to investigate the redundant effect of multimedia web page son viewers' cognitive processes", Computers in Human Behavior, Vol. 27, pp. 2410-2417, 2011.
- [10] Van Gog T., Jarodzka H., Scheiter K., Gerjets P., Paas F., "Attention guidance during example study via the model's eye movements", Computers in Human Behavior, Vol. 25, pp. 785-791, 2009.

- [11] Krejtz I., Szarkowska A., Krejtz D., Walczak A., Duchowski A., "Audio description as an aural guide of children's visual attention: evidence from an Eye-tracking study", Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications, pp. 99-106, 2012.
- [12] Van Gog T., Scheiter K., "Eye tracking as a tool to study and enhance multimedia learning", Learning & Instruction, Vol. 20, pp.95-99, 2010.
- [13] Wiebe E.N. Annetta L.A., "Animation and narration: using Eye Tracking to understand visual attention distribution", Annual meeting of the American Educational Research Association, Chicago, 2007.
- [14] Mayer R.E., "The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media", Learning and Instruction, Vol. 13, pp. 125-139, 2003.
- [15] Mayer R.E., "Multimedia aids to problem-solving transfer", International Journal of Educational Research, Vol. 31, pp. 611-623, 1999.
- [16] Mason L., Pluchino P., Tornatora M.C., N. Ariasi, "An Eye-tracking study of learning from science text with concrete and abstract illustrations", The Journal of Experimental Education, Vol. 81, pp. 356-384, 2013.
- [17] Yang, F., Chang, C., Chien, W., Chien, Y., Tseng, Y., "Tracking learners' visual attention during a multimedia presentation in a real classroom", Computers and Education, Vol. 62, pp. 208-220, 2012.
- [18] Evans M.A., Saint-Aubin J., "What children are looking at during shared storybook reading: evidence from eye movement monitoring", Psychological Science, Vol. 16, pp. 913-920, 2005.
- [19] Johnson, J., "Designing with the mind in mind: simple guide to understanding user interface design rules", Morgan Kaufmann, pp. 53-63, 2010.
- [20] Romero, G., "Pautas de Diseño de Interfaces Gráficas Basadas en el Modelo de Aprendizaje S.O.I., Plataformas: Microsoft, Linux.", Docencia Universitaria, Vol. IV, pp. 71, 2003.
- [21] García-Hernández C., "Eye Tracking technology applied to the design of safety and health signs at work", ORP, A Coruña, 2008.
- [22] Ozelik E., Karakus T., Kursun E., Cagiltay K., "An Eye-tracking study of how color coding affects multimedia learning", Computers and Education, Vol. 53, pp. 445-453, 2009.
- [23] Felder, R.M., Silverman, L.K., "Learning and Teaching Styles in Engineering Education Application", Engr. Education, Vol. 78, pp. 674-681, 1988.
- [24] Kaufman, A.S., Kaufman, N.L., "K-BIT: test breve de inteligencia de Kaufman", Tea, 2000.
- [25] Real Decreto 1513/2006, de 7 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas de la Educación primaria. BOE 293.
- [26] Moreno R., Durán R., "Do multiple representations need explanations? The role of verbal guidance and individual differences in multimedia mathematics learning", Journal of Educational Psychology, Vol. 96, pp. 492-503, 2004.

- [27] Kish, L., "Muestreo de Encuestas", Trillas, México, 1975.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Grupo CHICO de la UCLM por facilitar el uso del dispositivo Tobii X60, así como a la dirección, tutores y alumnos de 2º y 6º curso de Educación Primaria del CEIP San José de Calasanz por haber participado en la realización de dichos experimentos.

Óscar Navarro es diplomado en Magisterio por la Universidad Complutense de Madrid y Licenciado en Ciencias de la Educación por la Universidad Nacional de Educación a Distancia. Maestro en escuelas de educación infantil y primaria y en institutos de educación secundaria desde 1997, ha impartido cursos presenciales y online relacionados con el ámbito educativo. Asimismo ha impartido clases en el Centro de Estudios Universitarios de Talavera de la Reina. Sus principales áreas de interés son la elaboración y aplicación de materiales multimedia con alumnos de la etapa de Educación Primaria, así como la utilización de sistemas LMS y prácticas de e-learning



Ana Isabel Molina es Doctora en Ingeniería Informática (2007) por la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM). Actualmente es Profesora Contratada Doctora en la Escuela Superior de Informática de Ciudad Real, y miembro del grupo de investigación CHICO (Computer-Human Interaction and Collaboration) de la UCLM. Sus principales áreas de interés son la Interacción Persona-Ordenador, los Sistemas Colaborativos y los Nuevos Paradigmas de Interacción aplicados a la Educación.



Miguel Lacruz Doctor en Ciencias de la Educación, ha sido director de Instituto de Educación Secundaria, asesor en Centros de Profesores e Inspector de Educación en la provincia de Ciudad Real. Es Profesor Titular en la Facultad de Educación de Ciudad Real, en la UCLM, en el área de Didáctica y Organización Escolar donde ha impartido diversas materias de los Grados de Infantil y Primaria. También imparte docencia en el Máster del Profesorado de Educación Secundaria. Ha sido ponente en diversos congresos nacionales e internacionales, autor de varios libros y tiene publicadas multitud de artículos en revistas nacionales e internacionales relacionadas con la didáctica, la organización escolar y las nuevas tecnologías aplicadas a la educación.

Capítulo 6

***EvDebugger*: Las gramáticas de atributos hechas fáciles**

Daniel Rodríguez-Cerezo
Fac. Informática
Universidad Complutense de
Madrid
Madrid ,Spain
drcerezo@fdi.ucm.es

Pedro Rangel Henriques
Departamento de Informática
Escola de Engenharia
Universidade do Minho
Braga, Portugal
pedrorangelhenriques@gmail.com

José-Luis Sierra
Fac. Informática
Universidad Complutense de
Madrid
Madrid , Spain
jlsierra@fdi.ucm.es

Title– Attribute grammars made easier: *EvDebugger*

Abstract– Compiler construction courses are usually considered by the students as a difficult subject of the Computer Science degree. The main problem found by the students is to fully understand the theoretical concepts taught during the course and its practical application to build a compiler. In this paper, we present a platform for the development and debugging of language processors based on attribute grammar-oriented specifications. The main aim of this tool is to help students to design their own language processors, supported by the visual debugger included. The animations provided by *EvDebugger* show, in an attractive way, how the attribute evaluation process is performed. In this way, students are able to solve design problems, improve the effectiveness and efficiency of their language processors and understand their operation through experimentation and debugging provided with the software tool. Besides, we performed an assessment study with students of a Compiler Construction course whose results are presented and discussed in this paper.

Keywords– Education in Compiler Construction; Attribute Grammars; Debugger; Compiler Generator

Resumen– Los cursos de Construcción de Compiladores son considerados usualmente por los estudiantes como una asignatura difícil durante la carrera de Ingeniería en Informática. La principal problemática de estos cursos es entender completamente los conceptos teóricos impartidos, y su aplicación práctica para construir un compilador. En este trabajo, presentamos una plataforma para el desarrollo y depuración de procesadores de lenguajes especificados mediante el formalismo de las gramáticas de atributos. El principal propósito de esta herramienta es ayudar a los alumnos a diseñar sus propios procesadores de lenguaje, mediante el depurador visual incluido. Las animaciones proporcionadas por *EvDebugger* muestran, de forma atractiva, cómo se realiza el proceso de evaluación de los atributos. De esta forma, los estudiantes son capaces de resolver los posibles problemas de diseño, mejorar la eficiencia y eficacia de sus procesadores de lenguajes, y entender su funcionamiento mediante la experimentación y depuración ofrecida por la herramienta software. Además, hemos realizado un estudio de valoración con estudiantes de la asignatura de Construcción de Compiladores cuyos resultados son presentados y discutidos en este trabajo.

Palabras clave– Enseñanza de la Construcción de Compiladores; Gramáticas de Atributos; Depurador; Generador de Compiladores

I. INTRODUCCIÓN

Las principales recomendaciones curriculares[1] para la Informática señalan la construcción de procesadores de lenguaje como un aspecto importante que debe enseñarse a los estudiantes de ingeniería informática. Por ello, la mayoría de planes educativos de ingeniería en informática incluyen una asignatura relacionada con la Construcción de Compiladores. Durante un curso de esta asignatura, hay un balance entre los conceptos teóricos y su aplicación práctica para la construcción de procesadores de lenguaje[2]. Los estudiantes, además, tienen que realizar como proyecto final el diseño e implementación de un compilador. Sin embargo, los estudiantes encuentran, durante el desarrollo de esta tarea, muchos problemas debidos, principalmente, a que los alumnos no son capaces de conciliar la parte teórica con la práctica para construir el procesador. Desde nuestra experiencia, hemos observado que los estudiantes no suelen prestar atención a los detalles relacionados con el diseño del compilador, centrándose principalmente en su implementación. Al evaluar estos proyectos, hemos detectado deficiencias que podrían haber sido fácilmente subsanadas con un diseño más trabajado.

En un curso de Construcción de Compiladores, se presentan diferentes técnicas y formalismos para diseñar y especificar procesadores de lenguaje. Tradicionalmente, las gramáticas de atributos (GAs) han sido utilizadas para describir el procesamiento semántico llevado a cabo por los procesadores de lenguaje[14]. Idealmente, los estudiantes deberían hacer uso de este formalismo para diseñar sus compiladores, y validarlos mediante métodos formales. Sin embargo, los estudiantes no suelen validar sus diseños especificados mediante una GA, lo que lleva a diferentes problemas a la hora de realizar la implementación. Cuando los estudiantes plantean el diseño de sus compiladores mediante una GA, el primer y principal problema que encuentran es decidir qué atributos (heredados o sintetizados) precisan. Después, los estudiantes encuentran problemas a la hora de definir las ecuaciones semánticas adecuadas ya que tienen problemas para entender completamente las dependencias entre atributos que se derivan de dichas ecuaciones, en particular su orden de evaluación. Por ello, este trabajo se centra en este problema.

Con el objetivo de ayudar a los alumnos a validar sus diseños basados en GAs, hemos desarrollado una herramienta software para la especificación de procesadores de lenguajes basada en dicho formalismo, llamada *EvDebugger*. *EvDebugger* incluye, además, un depurador visual que ayuda a los estudiantes a entender el proceso de evaluación derivado de sus especificaciones y, así, poder identificar los potenciales errores de diseño, de una forma atractiva e intuitiva. La funcionalidad de esta herramienta está basada en nuestras propias experiencias desarrollando simuladores para la enseñanza del formalismo de las GAs como *Evaluators*[21], *Evaluators 2.0*[19] y *EvLib*[18].

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera. La sección II proporciona una revisión del estado del arte. La sección III introduce la herramienta software *EvDebugger* describiendo sus características y funcionalidad. En la sección IV se describe la experiencia de valoración llevada a cabo con estudiantes de un curso de Construcción de Compiladores. Finalmente, la sección V proporciona las conclusiones finales y algunas líneas de trabajo futuro.

Este trabajo es una versión en español preparada para TICA del artículo [20].

II. ESTADO DEL ARTE

La herramienta software propuesta en este trabajo está orientada a asistir a los estudiantes en las primeras fases del aprendizaje sobre el formalismo de las GAs, así como durante el desarrollo del proyecto final pedido durante el curso de Construcción de Compiladores. Los docentes de esta asignatura usan diferentes estrategias a la hora de proponer el compilador que los alumnos tienen que desarrollar como proyecto final del curso:

- Proyectos centrados en lenguajes de programación convencional. Este enfoque es el más comúnmente utilizado en la mayoría de cursos de Construcción de Compiladores. El lenguaje de programación elegido suele ser un lenguaje de programación reducido que incluye, por ejemplo, un par de tipos de datos básicos, operaciones sobre esos tipos de datos, estructuras de control (como bucles y condicionales), y un mecanismo de abstracción (funciones o procedimientos). Existen diferentes

lenguajes prototípicos usados para dar soporte a este enfoque como COOL[3] o MINIML[4].

- Pequeños proyectos de procesamiento de lenguaje. En esta estrategia, los estudiantes acometen la implementación de pequeños compiladores (o incluso partes concretas de un compilador) con el objetivo de centrar su atención en los conceptos recientemente estudiados en el aula. En [11] y [23] se proporciona una visión en profundidad de dicho enfoque.
- Lenguajes Específicos de Dominio. Los autores en [16] proponen una estrategia basada en Lenguajes Específicos de Dominio (DSL: Domain-Specific Language) donde los estudiantes tienen que desarrollar un procesador de lenguaje para este tipo de lenguajes. En este caso, los docentes proponen un dominio específico atractivo para los estudiantes, y plantean diferentes procesamientos para que los estudiantes los desarrollen. De esta forma, los estudiantes desarrollarán incrementalmente un procesador de lenguaje paso a paso. Otros ejemplos de esta estrategia se encuentran en DSLs para la representación de grafos[25], dibujo de figuras simples[22] o programación de acciones en robots[27].
- Análisis y depuración de compiladores para lenguajes de programación reales. Esta estrategia está orientada a ilustrar cómo funciona un compilador real, y es explicada en profundidad en [26], donde los autores explican que el enfoque tradicional de desarrollar un compilador no es suficiente para enseñar todos los conceptos necesarios para que los estudiantes tenga una valoración realista durante el transcurso de la asignatura.

No obstante, merece la pena apuntar cómo la mayoría de estas estrategias están centradas en la parte de desarrollo, poniendo en segundo plano la fase de diseño de un compilador, o incluso dándola por sentado. Debido a estas carencias en las diferentes estrategias presentadas, *EvDebugger* surge para proporcionar soporte a los estudiantes en la fase de diseño de sus compiladores, lo que potenciará una estrategia de implementación más fiel al lenguaje seleccionado por el docente.

Para apoyar a los estudiantes para terminar el proyecto final del curso, existen diferentes herramientas software:

- Compiladores de compiladores, como JavaCC[8], CUP[10], ANTLR[15], BISON[9], etc. Estas plataformas son capaces de generar procesadores de lenguaje directamente desde sus especificaciones, descritas mediante esquemas de traducción: una gramática incontextual aumentada por acciones semánticas.
- Plataformas que proporcionan ayudas visuales e interactivas al usuario. Estas plataformas pueden usarse para tener un mayor entendimiento del procesamiento realizado por un compilador específico. Por ejemplo, ANTLRWorks[6] es un entorno para el lenguaje ANTLR que proporciona un editor enriquecido con herramientas para detectar diferentes problemas de especificación introducidos por el usuario. Además, el entorno es capaz de mostrar diferentes representaciones visuales de los componentes del compilador o el árbol sintáctico de una sentencia procesada, con el fin de enriquecer el proceso de depuración. De forma similar, VCOCO[17] es una extensión del generador de procesadores COCO que produce procesadores capaces de presentar simulaciones visuales de diferentes partes del compilador generado.

El principal problema de los generadores de compiladores, desde un punto de vista educativo, es que están orientados a las fases de desarrollo de un compilador. Por lo tanto, los estudiantes necesitan un diseño sólido para obtener un esquema de traducción adecuado para el compilador que quieren desarrollar. El enriquecimiento de estas herramientas con capacidades visuales, a su vez, puede ser considerado como un depurador especializado para el proceso de evaluación asociado con el tipo de patrón correspondiente a cada herramienta. Sin embargo, no proporcionan utilidades para trabajar directamente con el diseño.

Por otro lado, existen herramientas para generar procesadores de lenguaje directamente desde su especificación basada en GA. Como ejemplos representativos consideramos LISA y PAG:

- LISA[12] es una plataforma que es capaz de generar procesadores de lenguaje directamente desde su especificación como GA. El sistema proporciona, además, representaciones visuales de cada etapa de procesamiento del compilador, con el fin de proporcionar un poderoso depurador.
- PAG (*Prototyping with Attribute Grammars*)[24] es una herramienta para generar procesadores de lenguaje capaces de mostrar el árbol sintáctico decorado, así como permitir su exploración. Con ello, el usuario es capaz de interpretar el proceso de evaluación semántica llevado a cabo.

A pesar de que no hay duda en que este tipo de herramientas puede ser útil para los alumnos a la hora de refinar sus compiladores, las representaciones visuales proporcionadas son estáticas, y no están centradas en el proceso de evaluación semántico propiamente dicho.

Finalmente, considerando que *EvDebugger* es un depurador visual, varias herramientas de esta índole se encuentran aplicadas a otros marcos declarativos. Por ejemplo:

- ViMer[7] es un depurador visual para Mercury, un lenguaje de programación lógica, que es capaz de mostrar el proceso de evaluación usando un tipo especial de árboles que representan adecuadamente el carácter no determinista de este tipo de lenguajes.
- Por otro lado, JI.FI[5] es un depurador visual para aplicaciones Java específicamente diseñado para depurar programas concurrentes. Entre sus características destaca la capacidad de depurar el comportamiento de programas concurrentes en tiempo real, y un motor de consultas capaz de interpretar características temporales.
- Finalmente, PM/IDE[13], un IDE para la planificación de modelos de dominio, incluye características para depurar y

probar planes automáticos dentro de los modelos. La plataforma proporciona diferentes depuradores visuales que ayudan a los desarrolladores a entender la ejecución de los planes y los cambios inducidos en el entorno modelado.

Las diferentes herramientas de depuración visual presentadas anteriormente hacen patente cómo su principal característica es que mejoran el entendimiento de la implementación, o el proceso de evaluación, de sus respectivos lenguajes mediante el uso de visualizaciones y animaciones que permiten al desarrollador entender de un solo vistazo sus propios programas.

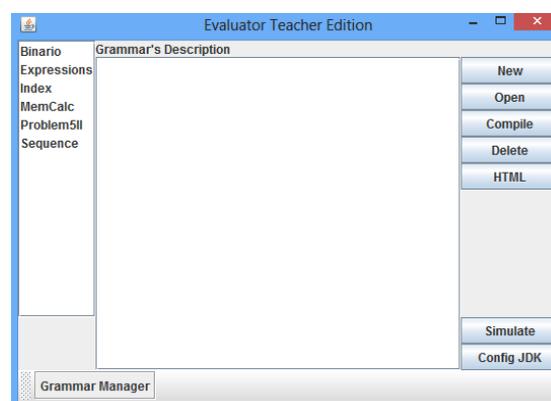


Fig1 Captura del gestor de gramáticas de *EvDebugger*.

III. EVDEBUGGER

EvDebugger es una herramienta software para la depuración de procesadores de lenguaje basada en su especificación. La herramienta es capaz de procesar especificaciones en forma de GA, descritas mediante un lenguaje de especificación propio, y generar el procesador de lenguaje para el lenguaje descrito. Además, la herramienta proporciona un depurador visual para depurar los procesadores de lenguaje definidos.

Las siguientes subsecciones describen los principales componentes de *EvDebugger*: el gestor de gramáticas, el editor de gramáticas y el depurador.

A. Gestor de Gramáticas

El gestor de gramáticas es la vista inicial ofrecida por la herramienta. Como puede observarse en la Fig1, ofrece una interfaz dividida en 3 áreas. De izquierda a derecha:

- La primera área muestra los diferentes procesadores de lenguaje registrados en el sistema.
- La segunda muestra una descripción informal de dichos procesadores (proporcionada por el desarrollador) que se mostrará al seleccionar uno de los procesadores.
- La tercera área proporciona acceso a las distintas funcionalidades de la herramienta, como crear un nuevo lenguaje, editarlo, borrarlo y compilarlo, y acceder al depurador visual mediante el botón *Simulate*.

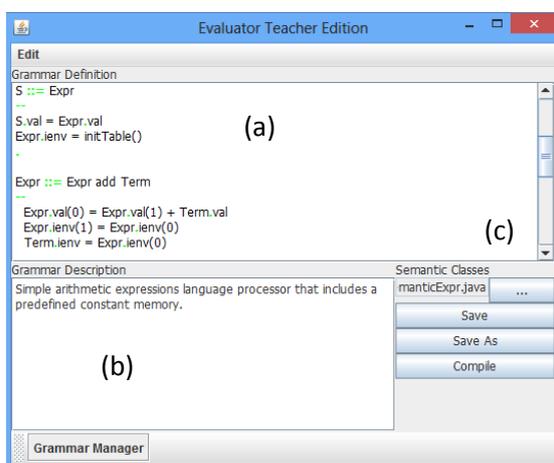


Fig2 Captura del editor de gramáticas de *EvDebugger*

B. Editor de Gramáticas

El editor de gramáticas es accesible desde el gestor de gramáticas tras seleccionar la creación de un nuevo procesador de lenguaje o abrir uno previamente creado. La Fig2 muestra una captura de este editor. La vista ofrece diferentes áreas donde especificar diferentes partes del procesador de lenguaje: la especificación mediante una GA (Fig2a), la descripción informal del procesador (Fig2b), y la clase semántica (Fig2c):

- La especificación como GA del procesador de lenguaje debe ser escrita en un lenguaje de especificación que hemos creado para dicho propósito. Este lenguaje es muy cercano a la notación utilizada habitualmente en las lecciones y libros de un curso de Construcción de Compiladores. De esta forma, los estudiantes pueden llevar a cabo la especificación de un procesador de lenguaje de una forma natural. La

especificación se divide en tres secciones diferentes: declaración de símbolos no terminales, declaración de símbolos terminales, y la especificación de las reglas gramaticales.

- La descripción informal de los procesadores es una descripción del procesador de lenguaje en lenguaje natural para ayudar al usuario a identificarlo en el gestor de gramáticas.
- La clase semántica es el nombre de una clase Java que debe implementar las funciones semánticas utilizadas en la especificación de la GA.

Con estos tres componentes, la herramienta es capaz de generar automáticamente el procesador de lenguaje a partir de su especificación, que será usado por el depurador.

C. Depurador Visual

Para acceder al depurador visual, es necesario compilar satisfactoriamente una gramática para obtener un compilador funcional. Tras seleccionar un procesador de lenguaje, el desarrollador puede utilizar el depurador pulsando el botón *Simulate*, disponible en la interfaz del gestor de gramáticas. Entonces, el depurador solicita una sentencia del lenguaje para procesarla. Si la sentencia es aceptada por el procesador, el depurador se configura para el lenguaje seleccionado y la sentencia proporcionada. La Fig 3 muestra el depurador visual completamente configurado.

El depurador muestra: (i) el árbol sintáctico (Fig 3a), (ii) la vista de los atributos del nodo (Fig 3b), (iii) la gramática de atributo (Fig 3c), (iv) una tabla donde se muestran los valores semánticos de los atributos calculados (Fig 3d), y (v) la caja de herramientas del depurador (Fig 3e). La funcionalidad de los botones de la caja de herramienta es (de izquierda a derecha): paso atrás en la depuración, empezar y parar la depuración, paso adelante en la depuración, activar la exploración de nodos, y modificación de la vista del árbol sintáctico:

- Los tres primeros botones están orientados a controlar el flujo del proceso de depuración.
- La exploración de nodos permite al usuario seleccionar cualquier nodo del árbol sintáctico. Al seleccionarlo, la

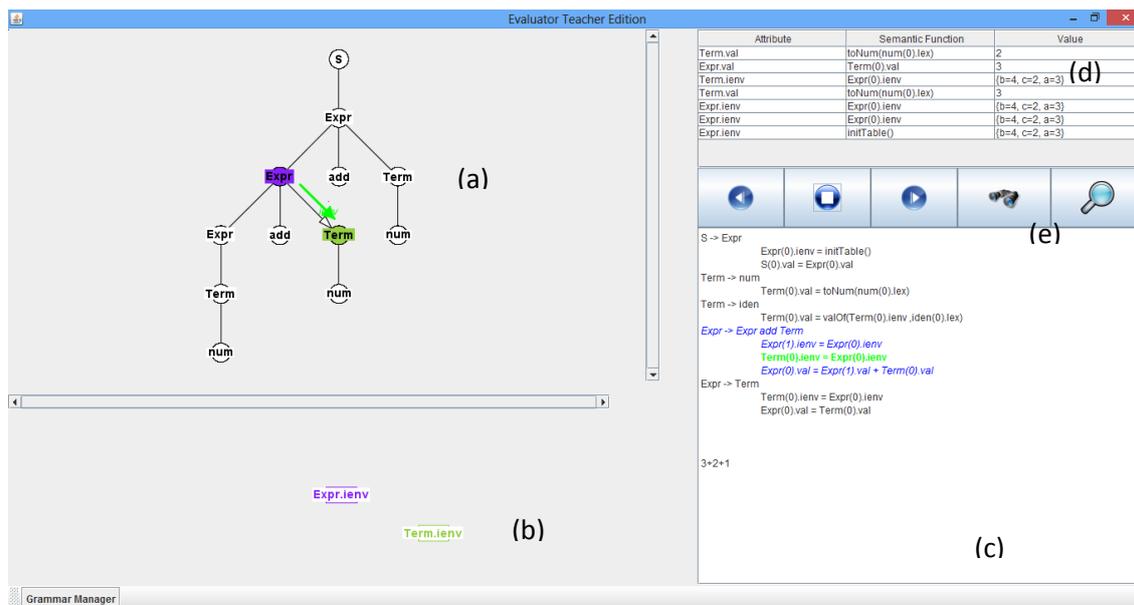


Fig 3 Captura del depurador visual.

herramienta dibuja las instancias de atributo asociadas a dicho nodo en la vista de atributos, debajo del árbol sintáctico. Estos atributos pueden ser seleccionados para comprobar su valor semántico, cuando esté disponible.

- Finalmente, el botón para modificar la vista del árbol sintáctico activa la exploración visual del árbol. En este modo, los usuarios pueden realizar *zoom*, para centrar la vista en determinadas partes del árbol sintáctico.

El depurador visual es capaz de mostrar el proceso de evaluación llevado a cabo por la GA especificada y la sentencia proporcionada. El depurador contempla dos tipos diferentes de acciones de evaluación:

- Movimientos en el árbol sintáctico. Los movimientos por los nodos del árbol se muestran al usuario mediante la animación de un puntero que indica qué nodo está siendo actualmente visitado en el proceso de evaluación. Cuando el proceso de evaluación requiere ir a otro nodo, el depurador anima la transición del puntero al nodo objetivo.
- La asignación de valor semántico a instancias de atributos.

Por su parte, la asignación de valor semántico provoca la siguiente secuencia de animaciones:

- En la vista del árbol sintáctico, los nodos de instancias de atributo involucradas son coloreados con diferentes colores, y aparecen flechas verdes para indicar el flujo de datos asociado con la asignación del nuevo valor semántico en el árbol sintáctico.
- En la vista donde se dibujan las instancias de atributo aparecen las instancias de atributo implicadas en la asignación, representadas como cajas de diferentes colores correspondientes al color de sus respectivos nodos en el árbol sintáctico. Además, en la especificación de la gramática, se resaltan la regla sintáctica y la ecuación semántica implicadas.
- Entonces, en esa misma vista, las diferentes cajas convergen hacia la caja que representa la instancia de atributo para la que se calcula el valor.
- Finalmente, cuando todas las cajas terminan su animación, el depurador registra una nueva entrada en la tabla con un nuevo valor semántico. La nueva entrada registrará el nombre del atributo, la ecuación semántica, y el valor semántico computado.

Las tres funcionalidades principales descritas anteriormente componen *EvDebugger*, convirtiéndola en una plataforma para la depuración de procesadores de lenguaje a partir de su especificación mediante GA. Su depurador visual es capaz de mostrar de una forma atractiva

el proceso de evaluación semántica para cualquier sentencia del procesador de lenguaje a simular. Así, el desarrollador es capaz de validar sus diseños e identificar posibles errores de una forma fácil e intuitiva.

IV. ESTUDIO DE VALORACIÓN

Durante el curso 2013-2014, se realizó una experiencia con estudiantes de la asignatura de Construcción de Compiladores de la Universidade do Minho (Braga, Portugal) que involucró el uso de *EvDebugger*. En la experiencia participaron 10 estudiantes que utilizaron dicha herramienta. La experiencia se dividió en las siguientes fases:

TABLA I
RESULTADOS OBTENIDOS DEL CUESTIONARIO DE OPINIÓN.

Cuestiones	% de acuerdo
Editor de Gramáticas	
El editor me ha resultado fácil de utilizar	90
Las ayudas visuales proporcionadas por el editor, como resaltar la palabras reservadas, me han resultado útiles	90
Creo que la implementación de las funciones semánticas en la clase Java es apropiada	90
Los mensajes de error proporcionados por el compilador es adecuado	30
Depurador Visual	
El depurador visual me ha ayudado a mejorar el diseño de mis gramáticas	100
Las animaciones presentadas por el depurador me han ayudado a entender el flujo de datos de mi diseño	90
Durante la animación, resaltar la regla sintáctica y de cálculo involucrada en cada paso de depuración me ayudo a entender mi diseño	90
Las flechas decorando el árbol sintáctico durante las animaciones me han ayudado a entender la diferencia entre atributos sintetizados y heredados	80
La tabla donde se apilan los atributos semánticos calculados me han ayudado a visualizar el progreso de cálculo	90

- Presentación de la herramienta. Las funcionalidades de la herramienta se presentaron mediante un tutorial en vivo.
- Uso de *EvDebugger*. En este punto, presentamos a los estudiantes diferentes

problemas de procesamiento de lenguaje. Estos problemas fueron diseñados para explotar toda la potencia semántica de las GA. Las tareas de procesamiento planteadas proponían a los estudiantes diseñar GA con diferentes grados de herencia.

- Recabar la opinión de los estudiantes mediante cuestionarios. Para ello, diseñamos un cuestionario corto de nueve preguntas cuya respuesta estaba basada en una escala Likert de cuatro puntos (Desacuerdo, parcialmente en desacuerdo, parcialmente de acuerdo, De acuerdo). Las preguntas están registradas en la primera columna de la TABLA I. La segunda columna muestra el porcentaje de alumnos que estaban de acuerdo o parcialmente de acuerdo con cada afirmación del cuestionario. Además, recogimos la opinión personal de los estudiantes sobre *EvDebugger*.

Los resultados presentados en la TABLA I muestran que la herramienta ha cosechado éxito entre el grupo de alumnos encuestados. Las valoraciones obtenidas ponen de manifiesto que las funcionalidades proporcionadas por el editor y el depurador han resultado útiles para los alumnos, considerando ambos adecuados para la creación y refinamiento de sus diseños. Además, hemos analizado los diferentes puntos de vista proporcionados en la opinión personal, donde hemos podido observar diferentes problemas que los estudiantes han detectado en la herramienta. Entre ellos, se sugiere que es necesario dar la posibilidad de acelerar el proceso de depuración para acceder a determinados puntos sin realizar todo el proceso de cálculo.

V. CONCLUSIONES

A lo largo de este artículo se ha presentado *EvDebugger*, una herramienta software para la especificación y depuración de procesadores de lenguaje. El entorno proporciona un editor para el diseño de procesadores de lenguaje basados en el formalismo de las GA. Además, la plataforma consta de un poderoso depurador visual para mostrar el proceso de evaluación derivado del diseño. La potencia educativa de este software reside principalmente en su depurador visual y sus animaciones que representan adecuadamente el

proceso de evaluación semántico resaltando las dependencias entre atributos. Esto permite a los estudiantes entender en profundidad cómo utilizar el formalismo para sus propios diseños, y el funcionamiento de los mismos. De este modo, ellos son capaces de refinar el diseño de sus procesadores de lenguaje y validarlo antes de realizar la implementación final. Los resultados de valoración incluidos en el artículo ponen de manifiesto que la utilidad percibida por los alumnos es alta, considerando a *EvDebugger* como una herramienta complementaria al curso de Construcción de Compiladores, gracias a su utilidad para entender las GA y su aplicación al diseño de procesadores de lenguaje.

Finalmente, como líneas de trabajo futuro mencionar, en primer lugar, la necesidad de mejorar las carencias detectadas por los estudiantes en el estudio de valoración: mejorar el sistema de detección de errores, y proporcionar un mejor acceso a determinados puntos del proceso de evaluación. Después, nos gustaría organizar otra experiencia con estudiantes para medir la eficacia educativa de la herramienta, y su impacto en el diseño y desarrollo del proyecto final del curso.

REFERENCIAS

- [1] ACM/IEEE. Computer Science Curriculum 2008: An Interim Revision of CS 2001. 2008.
- [2] Aho, A.V., Lam, M.S., Sethi, R., Ullman, J.D.: Compilers: principles, techniques and tools (second edition), Addison-Wesley, 2007.
- [3] Aiken, A. (1996). Cool: A portable project for teaching compiler construction. *ACM SIGPLAN Notices*, 31(7): 19-24, 1996.
- [4] Baldwin, D. (2003). A compiler for teaching about compilers. In *SIGCSE'03: Proceedings of the 34th SIGCSE technical symposium on Computer science education*, pages 220-223, New York, NY, USA. ACM.
- [5] Blanton, E., Lessa, D., Arora, P., Ziarek, L., & Jayaraman, B. (2013). JI. FI: Visual test and debug queries for hard real-time. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*.
- [6] Bovet, J. and Parr, T. 2008. ANTLRWorks: an ANTLR grammar development environment. *Softw. Pract. Exper.*, 38: 1305-1332. doi: 10.1002/spe.872.
- [7] Cameron, M., García De La Banda, M., Marriott, K., & Moulder, P. (2003, August). Vimer: a visual debugger for mercury. In *Proceedings of the 5th ACM SIGPLAN international conference on Principles and practice of declarative programming* (pp. 56-66). ACM.
- [8] Copeland, T. (2007). *Generating parsers with JavaCC*. Alexandria: Centennial Books.
- [9] Donnelly, C., & Stallman, R. (2004). Bison. The YACC-compatible Parser Generator.
- [10] Hudson, S. E., Flannery, F., Ananian, C. S., Wang, D., & Appel, A. W. (1999). Cup parser generator for java. Princeton University.
- [11] Ledgard, H.F. 1971. Ten mini-languages: A study of topical issues in programming languages. *ACM Computing Surveys*, 3(3).115-146.
- [12] Mernik, M. & Zumer, V. 2003. An educational tool for teaching compiler construction. *IEEE Transactions on Education*, vol.46. 61-68.
- [13] Ong, J. C., Remolina, E., Smith, D. E., & Boddy, M. S. (2013). A Visual Integrated Development Environment for Automated Planning Domain Models.
- [14] Paakki, J. 1995. Attribute Grammar Paradigms – A High-Level Methodology in Language Implementation. *ACM Computer Surveys*, 27, 2, 196-255.
- [15] Parr, T. (2009). ANTLR parser generator. Online Stand December.
- [16] Pereira, M. J., Oliveira, N., Cruz, D., & Henriques, P. (2013). Choosing grammars to support language processing courses. *Proceedings of the 2nd Symposium on Languages, Applications and Technologies*. OpenAccess Series in Informatics (OASIS).
- [17] Resler, D. & Deaver, D. 1998. VCOCO: A visualization tool for teaching compilers. *Proceedings of the 6th annual Conference on the Teaching of Computing and the 3rd annual Conference on Integrating Technology into Computer Science Education (ITICSE'98)*, ACM, New York, NY, USA. 199-202.
- [18] Rodríguez-Cerezo, D. & Sierra, J-L. 2013. Introducing a Design-Preserving Implementation Strategy in a Compiler Construction Course. *XV Simposio Internacional de Informática Educativa (SIIE'13)*. ACM. Pags 24-29.
- [19] Rodríguez-Cerezo, D., Gómez-Albarrán, M. & Sierra, J.L. (2013). Interactive educational simulations for promoting the comprehension of basic compiler construction concepts. In *Proceedings of the 18th ACM conference on Innovation and technology in computer science education (ITICSE '13)*. ACM, New York, NY, USA, 28-33.
- [20] Rodríguez-Cerezo, D., Henriques, P. R., & Sierra, J. L. (2014, November). Attribute grammars made easier: EvDebugger a visual debugger for attribute grammars. In *Computers in Education (SIIE)*, 2014 International Symposium on (pp. 23-28). IEEE.
- [21] Rodríguez-Cerezo, D., Sarasa-Cabezuelo, A., Gómez-Albarrán, M. & Sierra, J.L. (2014). Serious games in tertiary education: A case study concerning the comprehension of basic concepts in computer language implementation courses, *Computers in Human Behavior*, Volume 31, February 2014, Pages 558-570, ISSN 0747-5632.
- [22] Ruckert, M. 2007. Teaching compiler construction and language design: making the case for unusual compiler projects with postscript as the target language. *Proceedings of the 29th SIGCSE Technical symposium on Computer science education*, ACM, New York, NY, USA.232-236.
- [23] Shapiro, H.D. & Mickunas, M.D. 1976. A new approach to teaching a first course in compiler construction. *Proceedings of the ACM SIGCSE-SIGCUE technical symposium on Computer science and education*, ACM, New York, NY, USA.158-166.
- [24] Sierra, J.L., Fernández-Pampillón, A.M. & Fernández-Valmayor, A. 2008. An environment for supporting active learning in courses on language processing. *Proceedings of the 13th annual*

conference on Innovation and technology in computer science education (ITiCSE '08) 128-132.

- [25] Werner, M. 2003. A parser project in a programming languages course. *Journal of Computing in Small Colleges*, 18(5), 184-192.
- [26] White, E., Sen, R. & Stewart, N. 2005. Hide and show: using real compiler code for teaching. *Proceedings of the 36th SIGCSE technical symposium on Computer science education*, ACM, New York, NY, USA. 12-16.
- [27] Xu, L. & Fred, G. 2006. Chirp on crickets: teaching compilers using an embedded robot controller. *Proceedings of the 37th SIGCSE technical symposium on Computer science education*, ACM, New York, NY, USA. 82-86.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada parcialmente por el proyecto del Plan Nacional de I+D+i español (TIN2010-21288-C02-01), por el Programa de Formación del Profesorado Universitario de España (EDU/3445/2011) y por la FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia) portuguesa (proyecto PEst-OE/EEI/UI0752/2014).



Daniel Rodríguez Cerezo obtuvo su título de Ingeniería en Informática (2011) y el Máster de Investigación en Informática (2012) en la Universidad Complutense de Madrid. Actualmente está finalizando el desarrollo de un Doctorado en Informática en la Universidad Complutense de Madrid.

De 2011 al 2012 colaboró como becario predoctoral en el Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial de la Facultad de Informática de la Universidad Complutense de Madrid. Desde 2012 es becario predoctoral en dicho Departamento. Su investigación se centra en el uso de diferentes técnicas eLearning (simuladores interactivos y videojuegos serios, herramientas de prototipado y sistemas recomendadores de objetos de aprendizaje) aplicados a la enseñanza de la Informática, y, más concretamente, de la Ingeniería de Lenguajes Software.



Pedro Rangel Henriques obtuvo el título de Ingeniería en Electrotécnica / Electrónica en la FEUP (Facultad de Ingeniería de la Universidad de Oporto), y finalizó su Doctorado en la Universidad de Minho con la finalización de su tesis en Lenguajes Formales y Gramáticas de Atributo. En 1981 se unió al Departamento de Informática de la

Universidad de Minho como profesor titular. Desde 1995 es coordinador del grupo de Procesamiento de Lenguaje en el CCTC (Centro de Informática y Tecnología). Actualmente, se dedica a la docencia de diferentes cursos en el área de la programación. Ha supervisado diversas tesis de Máster (29) y Doctorado (11), y más de 50 proyectos fin de carrera en las áreas de procesamiento de lenguaje y procesamiento de documentos estructurados, análisis de código, visualización y comprensión de programas, minería de datos, etc. Es en estos temas donde se centra su actividad investigadora. Es coautor del libro "XML & XSL: da teoria a prática" publicado en 2002, ha publicado 6 capítulos en diferentes libros, 26 artículos de revista, y ha colaborado en 28 proyectos de I+D.



José Luis Sierra Rodríguez obtuvo el título de Ingeniería en Informática en la Universidad Politécnica de Madrid, y finalizó su Doctorado en la Universidad Complutense de Madrid. Actualmente es profesor titular en el Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial de la Facultad de Informática en la Universidad Complutense donde dirige el grupo de investigación ILSA

(Ingeniería de Lenguajes Software y Aplicaciones). Su investigación se centra en el desarrollo y uso práctico de las herramientas de descripción de lenguajes informáticos, y en el desarrollo orientado a lenguajes de aplicaciones interactivas en el campo de las humanidades digitales y del eLearning. Ha dirigido, y participado en, diversos proyectos de investigación en los campos de las humanidades digitales, el eLearning y la Ingeniería de Lenguajes; cuyos resultados han sido publicados en más de 100 artículos en revistas y congresos internacionales. Ha sido miembro del comité gestor de la acción COST INTEREDITION de la EU, y es miembro del comité para la estandarización en Tecnologías de la Educación para el Aprendizaje AEN/CTN 36 de AENOR.

Página en Blanco

Capítulo 7

Diseño y Programación de un Sistema Háptico Educativo basado en Arduino

Jorge Juan Gil, Iñaki Díaz, Xabier Justo, Pablo Cíaurriz y Ana López

Departamento de Mecánica Aplicada
CEIT y TECNUN, Universidad de Navarra
San Sebastián, España
jjgil@tecnun.es

Title– Designing and Programming an Educational Haptic System based on Arduino

Abstract– The laboratory of Systems Technology and Automatic Control of TECNUN has developed an electronic controller based on the Arduino platform to allow students implementing haptic algorithms in multiple mechatronic devices. This work describes the design and the development process of the controller. A PHANToM Premium 1.0 haptic device has been used to validate the interface. The control algorithms and haptic interaction methods designed to properly manage the platform are described in depth. Several experiments carried out to test the interface are also presented. The proposed system is an excellent test-bed for students to put into practice their skills and learn multiple concepts in the domains of electronics, control and programming.

Keywords– electronic control systems, robotics, arduino, haptic controller.

Resumen– En el laboratorio de Tecnología de Sistemas y Automática de TECNUN se ha desarrollado un controlador electrónico basado en la plataforma Arduino que permite a los alumnos implementar algoritmos hápticos en distintos dispositivos mecatrónicos. Este trabajo describe en detalle los algoritmos de control así como los métodos de contacto hápticos desarrollados para controlar la plataforma. También se han realizado varios experimentos

para validar la interfaz. Para dicha validación se ha empleado el interfaz háptico PHANToM Premium 1.0. El sistema propuesto es una plataforma ideal para los alumnos a la hora de poner en práctica sus conocimientos, al mismo tiempo que aprenden conceptos de electrónica, control y programación.

Palabras clave– control de sistemas electrónicos, robótica, Arduino, controlador háptico.

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología háptica ha hecho posible desarrollar dispositivos mecatrónicos que permiten al usuario interactuar con entornos virtuales o remotos de forma táctil [1]. A través del dispositivo háptico el usuario obtiene información táctil del entorno. Gracias a estos dispositivos se han implementado múltiples aplicaciones para mejorar el estado de la técnica en diferentes campos. Por ejemplo, se han desarrollado simuladores hápticos para cirugía donde los cirujanos pueden ser entrenados antes de la operación[2]. La tecnología háptica crea un entorno más realista donde el cirujano siente las fuerzas de contacto que sentiría durante la operación. También permite desarrollar nuevas herramientas robóticas avanzadas para la telecirugía[3] y la teleoperación[4]. El sector del transporte también se ha visto beneficiado por esta tecnología, desarrollándose sistemas *drive-by-wire* que mejoran la maniobrabilidad de los vehículos [5]. En todos los casos, los interfaces hápticos son utilizados para mejorar la destreza del usuario en el

manejo de robots y dispositivos mecatrónicos por medio de la restitución de fuerzas (Fig. 1).

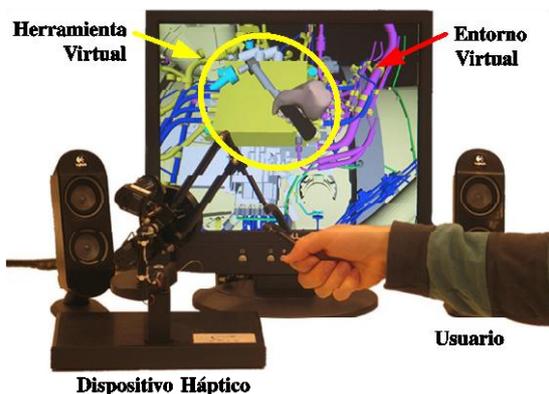


Fig. 1. Sistema háptico desarrollado en TECNUN para realizar tareas de mantenimiento aeronáutico

La háptica es una disciplina multidisciplinar que abarca conocimientos de mecánica, ingeniería de control, electrónica, gráficos por computador, procesamiento de señales, etc. El desarrollo de interfaces hápticas permite a los alumnos poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos en los campos mencionados. Por otro lado, la tecnología háptica es novedosa y motivadora para los alumnos.

Hasta ahora, uno de los principales inconvenientes para usar sistemas hápticos era su elevado precio. Sin embargo, existen dispositivos comerciales, como el Novint Falcon, que tienen un precio inferior a 250 €. Es más, prototipos sencillos de un grado de libertad pueden ser fácilmente desarrollados en laboratorio, usando motores eléctricos baratos y sensores de posición [6]. Aun así, la electrónica puede ser un factor limitante en cuanto a precio.

Un requisito importante de los sistemas hápticos es que los algoritmos de control deben ejecutarse a una frecuencia igual o superior a 1 kHz. Este umbral es conveniente para conseguir una buena sensación táctil y también para garantizar la estabilidad del sistema [7], [8]. Conviene recordar que un dispositivo háptico es un sistema mecatrónico concebido para interactuar físicamente con el usuario, por lo que la seguridad siempre debe ser analizada.

Afortunadamente, en los últimos años han emergido en el mercado varias tarjetas electrónicas de bajo coste, como la Arduino¹ y la RaspberryPi².

Estos sistemas, aunque aún limitados en su capacidad de procesamiento (comparados con tarjetas más sofisticadas de National Instruments, por ejemplo), permiten añadir controladores hápticos baratos. Además permiten implementar de forma sencilla nuevos módulos y sistemas adicionales. Otro hándicap para estos sistemas es el precio de los amplificadores usados para alimentar los motores.

Este trabajo describe el controlador háptico educacional que hemos construido basado en la plataforma Arduino, con el propósito de servir de banco de ensayos para ingenieros mecánicos, electrónicos y de control. También describe las soluciones adoptadas para usar amplificadores de bajo coste, controlando los motores en modo tensión e incluyendo un modelo térmico para mejorar las prestaciones [9]. Finalmente, se presenta un ejemplo de aplicación háptica desarrollado con la plataforma descrita en este trabajo. Con todo ello, el sistema háptico desarrollado permitirá a los alumnos poner en práctica sus conocimientos con un coste razonable.

El presente artículo está organizado de la siguiente manera: la Sección II describe todos los componentes del sistema, sus especificaciones y características. Después, en la Sección III, se explica el algoritmo háptico usado para el cálculo de fuerzas. La Sección IV presenta el modelo térmico desarrollado para el correcto control del sistema en modo tensión, así como los experimentos realizados para validar el algoritmo propuesto y el modelo térmico. Posteriormente, sobre la base de los algoritmos de control desarrollados en este trabajo, la Sección V describe un ejemplo de aplicación háptica desarrollado por una alumna. Finalmente, la Sección VI resume las conclusiones y el trabajo futuro.

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema mecatrónico propuesto (Fig. 2) está compuesto por cinco elementos: un interfaz mecánico comercial, fuente de alimentación, Arduino (como controlador del sistema), carcasa y conectores. Estos se describen a continuación.

¹www.arduino.cc

²www.raspberrypi.org



Fig. 2. Sistema háptico desarrollado para aplicaciones educativas

II-A. Interfaz háptica

El PHANToM Premium 1.0 de SensAble Technologies, Inc.(ahora Geomagic, Inc.) es un interfaz háptico que cumple los requisitos de muchas aplicaciones comerciales y de investigación. Se emplea en sistemas de control de fabricación, visualización de componentes mecánicos, simulaciones médicas, y otras muchas aplicaciones hápticas. Este dispositivo tiene un rango de movimiento suficiente para el movimiento de una mano pivotando sobre su muñeca. Está provisto de tres grados de libertad sensorizados y actuados.

El mecanismo del interfaz tiene una base giratoria sobre la que se sitúa un pantógrafo. Un motor eléctrico mueve dicha base, mientras otros dos mueven el pantógrafo. La aplicación educativa final prevé implementar efectos hápticos en un espacio bidimensional, por tanto sólo hay que sensorizar y actuar dos grados de libertad. En consecuencia, la base del interfaz será bloqueada mecánicamente y se dejarán libres los dos grados de libertad del pantógrafo.

TABLA I
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MAXON RE-25-055-35

Parámetro	Símbolo	Valor
Potencia		20 W
Tensión nominal	V_N	24 V
Corriente máx. en continuo	$I_{m\acute{a}x}$	1.22 A
Constante de par	K_m	23.5 mN·m/A
Constante de velocidad	K_m^{-1}	407 rpm/V
Resistencia del bobinado	R	2.34 Ω
Inductancia del bobinado	L	0.24 mH

Varios componentes del sistema han sido elegidos de acuerdo a las especificaciones de los sensores y de los actuadores del interfaz háptico. El PHAMToM tiene tres motores DC de escobillas, Maxon RE-25-055-35, y tres encoders

incrementales rotativos, Hewlett-Packard (ahora Agilent) HEDM-5500-B. Las especificaciones de los motores están listados en la Tabla I.

II-B. Fuente de alimentación

La serie TracoPower TOP 60 Series son fuentes de alimentación AC/DC abiertas con salida única, doble o triple y potencia de salida continua de hasta 60 W. Están embebidos en una base de 50 × 100 mm, por lo que su tamaño es parecido a la de una Arduino. La fuente de alimentación cuenta con un disipador de calor por convección, permitiendo operar con temperaturas de hasta 70°C.

Se ha elegido el modelo TOP 60112 (Fig. 3), que ofrece 12 VDC y hasta 5 A. Esta salida es suficiente para alimentar dos motores de 1.22 A de corriente máxima en continuo.

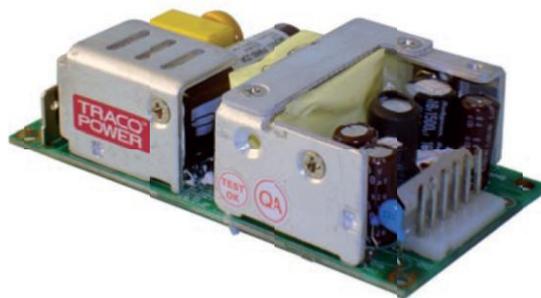


Fig. 3. Fuente de alimentación TracoPower TOP 60112 (© TracoElectronic AG)

II-C. Arduino (controlador)

Arduino es una plataforma abierta de prototipado electrónico que posee un software flexible y fácil de usar. La tarjeta puede obtener información del entorno mediante una variedad de sensores e interactuar controlando luces, motores y otro tipo de actuadores. El lenguaje de programación del Arduino está basado en C/C++, y los programas pueden ejecutarse de forma autónoma o comunicarse con un ordenador.

De todos los modelos disponibles, el Arduino Mega 2560 es el adecuado para nuestra aplicación (Fig. 4). Esta placa tiene un microcontrolador ATmega2560, 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 15 pueden usarse como salidas PWM), 16 entradas analógicas, conexión USB, y una conexión jack. Cada uno de los 54 pines digitales opera a 5 V y puede administrar o recibir hasta 40 mA (tienen una resistencia pull-up interna de 20-50 k Ω). Además, algunos pines tienen funciones especiales:

- Serial: Usado para recibir (RX) y transmitir (TX) datos serie TTL.
- Interrupciones Externas: Estos pines pueden configurarse para disparar una interrupción en valores bajos, emergentes o caídas, o cambios de valor.
- PWM: Provee una salida PWM de 8-bits.
- SPI: Estos pines soportan comunicación SPI.
- TWI: Estos pines soportan comunicación TWI.

Las señales de los encoders se pueden conectar a entradas digitales concretas de la placa Arduino Mega. En particular, seis pines (2, 3, 18, 19, 20 y 21) pueden configurarse como interrupciones externas, y por ello pueden usarse para decodificar la cuadratura de la salida (A y B) del encoder. Para poder contar el tren de pulsos se ha implementado una librería pública (ver apartado VI). Nótese que, aunque tan sólo se han usado dos sensores de posición, sería posible medir los tres encoders del PHANToM con esta tarjeta.

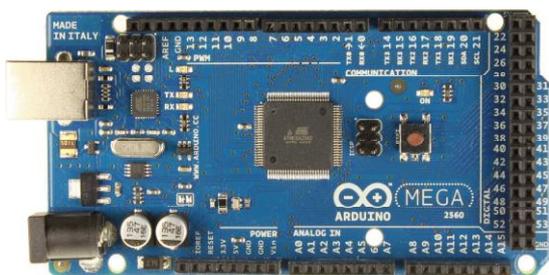


Fig. 4. Placa Arduino Mega (© Arduino)

El Arduino Mega se puede alimentar a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. En este caso, el Arduino se alimenta mediante el pin VIN y GND, aprovechando la ventaja que ofrece la placa de expansión usada para la alimentación de los motores. La placa puede funcionar en un rango de 6 a 20 V, pero el rango recomendado es de 7 a 12 V.

La longitud y el ancho máximo de la PCB del Arduino Mega es de 100 y 55 mm respectivamente. Tres agujeros permiten asegurar la placa a nuestra carcasa.

II-D. Amplificador (placa de expansión para motores)

El Arduino Mega está diseñado para ser compatible con muchas placas de expansión. Los pines digitales de 0 a 13 (y los pines adyacentes AREF y GND), entradas analógicas de 0 a 5, el

puerto de alimentación, y el puerto ICSP están situados de una forma estándar.

La placa de expansión para Arduino Pololu dual VNH5019 y su correspondiente librería facilitan el control de dos motores DC bidireccionales de potencia elevada (Fig. 5). Dicha placa posee dos controladores de motor VNH5019 de ST, los cuales pueden operar de 5.5 a 24 V, y pueden administrar de forma continua 12 A (30 A de pico) por canal, incorporando la mayoría de componentes necesarios para estas aplicaciones, incluyendo pull-up, resistencias de protección y FETs para la protección de polaridad inversa.



Fig. 5. Placa de expansión Pololu Dual VNH5019 (© Pololu Corporation)

Siguiendo las instrucciones del fabricante, se ha modificado el cableado de fábrica del Arduino Mega para conseguir una conmutación ultrasónica del PWM.

II-E. Carcasa

La carcasa del sistema ha sido diseñada para facilitar el transporte y la refrigeración de los componentes internos. Además, se ha considerado la conectividad, de modo que la toma de corriente, el interruptor de encendido/apagado y el LED de estado se han situado en una cara, mientras que las conexiones de los motores y encoders se hallan en la cara opuesta (Fig. 6).



Fig. 6. Renderizado de la carcasa diseñada

Una tapa extraíble en la parte superior de la carcasa permite examinar el interior en caso de fallo. Incluye también un orificio para poder acceder al botón reset del Arduino.

II-F. Conectores

Para una conectividad estándar, se ha provisto el sistema de tres tipos de conectores comunes:

- Alimentación: Se ha instalado un conector de ordenador IEC-C14. Antes de conectar la fuente de alimentación, se han instalado un botón on/off y un LED de estado.
- Motores: Se ha usado el conocido conector XLR-3 para la alimentación de los motores.
- Encoders: Se han instalado conectores DB-9.

III. ALGORITMO DE CONTROL HÁPTICO

Un sistema háptico (Fig. 1) mapea los movimientos del usuario en un entorno virtual y, si el usuario colisiona con un objeto virtual, también es capaz de devolver una fuerza [10]. La fuerza ejercida debería ser suficiente para que el usuario no penetre en el objeto virtual. Este lazo de control resultante es llamado control en impedancia [11]. Las fuerzas de contacto se calculan como función de la penetración, normalmente como un sistema masa-muelle.

El algoritmo de impedancia se debe ejecutar a una frecuencia en torno a 1 kHz para asegurar una correcta percepción táctil y para garantizar la estabilidad del sistema. Existen varios parámetros que pueden influir en la estabilidad del sistema [12], [13].

Los actuadores situados en los ejes del interfaz son los que producen las fuerzas y pares que se devuelven al usuario. Estas fuerzas pueden ser calculadas usando la matriz Jacobiana del interfaz mecánico. Debido a que los motores DC ejercen un par dependiente de la corriente suministrada, los amplificadores suelen estar configurados en *modo corriente*. Estos dispositivos suelen ser caros porque miden la corriente y cierran un lazo interno de control muy rápido (más rápido que el algoritmo háptico).

Una alternativa económica es configurar los amplificadores en *modo tensión*. La mayor desventaja de esta solución es que el par resultante en el actuador depende de la dinámica eléctrica del mismo. Por ejemplo, la corriente consumida por el motor descenderá al aumentar la resistencia eléctrica con la temperatura del bobinado. Otro efecto adverso es el aumento de viscosidad por la

fuerza contraelectromotriz [14]. El esquema eléctrico de la Fig. 7 y sus correspondientes ecuaciones explican estos fenómenos.

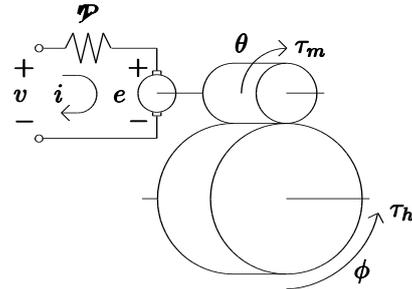


Fig. 7. Esquema electromecánico del actuador con la etapa reductora

La entrada es la tensión comandada por el amplificador $v(t)$, R es la resistencia eléctrica del motor, $i(t)$ es la corriente y $e(t)$ la fuerza electromotriz. El par motor $\tau_m(t)$ es proporcional a la corriente, mientras que la fuerza electromotriz es proporcional a la velocidad de giro del motor $\theta'(t)$. A la salida de la transmisión, la posición final $\phi(t)$ es igual a $\theta(t)$ dividido por la reducción N . En cambio, el par $\tau_h(t)$ transmitido es el par motor multiplicado por la reducción. La inercia y viscosidad mecánicas son J y B respectivamente:

$$v(t) = Ri(t) + e(t) \tag{1}$$

$$e(t) = \kappa_m \theta'(t) \tag{2}$$

$$\tau_m(t) = \kappa_m i(t) \tag{3}$$

$$\theta(t) = N\phi(t) \tag{4}$$

$$\tau_h(t) = N\tau_m(t) \tag{5}$$

$$\tau_h(t) = J\phi''(t) + B\phi'(t) \tag{6}$$

El efecto de la inductancia del motor se desprecia porque la constante de tiempo eléctrica es muy pequeña comparada con la mecánica. Usando (1)-(6), la salida del sistema, $\phi(t)$, se puede expresar en el dominio de Laplace como:

$$\Phi(s) = \frac{1}{Js^2 + \left(B + \frac{N^2\kappa_m^2}{R}\right)s} \frac{N\kappa_m V(s)}{R} \tag{7}$$

El sistema se comporta como una inercia con amortiguamiento viscoso. La viscosidad tiene dos componentes: una mecánica, B , y otra eléctrica, $N^2\kappa_m^2/R$. La tensión de entrada $v(t)$ es equivalente al par de entrada $N\kappa_m v(t)/R$ en el eje de la polea conducida, que trasladado al eje motor:

$$\tau_m(t) \approx \frac{\kappa_m v(t)}{R} \tag{8}$$

Este par se puede usar para calcular la fuerza de salida del sistema, que variará ligeramente en el

tiempo, ya que la resistencia eléctrica R cambia con la temperatura del bobinado. Sin embargo, este efecto de deriva se puede compensar usando un modelo térmico del actuador.

IV. MODELO TÉRMICO

Como se ha mencionado en la sección anterior, los motores del PHANToM están controlados en modo tensión. Esto significa que la influencia de la temperatura del bobinado de cada motor ha de ser tenida en cuenta para poder obtener un par estable en la salida hacia los motores. El valor de la resistencia cambia con la temperatura del bobinado T_w de acuerdo con la ecuación:

$$R(T_w) = R_0[1 + \alpha(T_w - T_0)] \quad (9)$$

donde α es un coeficiente dependiente del material, T_0 es la temperatura ambiente y R_0 el valor de la resistencia medida a esa temperatura.

La tensión aplicada al motor genera una corriente que depende de la resistencia eléctrica del motor. Esta corriente genera un calentamiento del bobinado siguiendo la ley de Joule. Debido a (9), la resistencia del motor incrementará. Esto hará que disminuya la corriente que lo atraviesa, dando como resultando un par de salida menor al calculado por el algoritmo de control.

Ser capaz de estimar correctamente la temperatura del bobinado en cada momento permitiría un mejor control en modo tensión. Para ello se ha creado un modelo térmico sencillo del motor. Este modelo estima la temperatura del bobinado en cada periodo de muestreo y modifica la señal de tensión enviada al motor para compensar este problema.

IV-A. Definición del modelo

Se ha creado un modelo unidimensional simplificado de tres masas para lograr un compromiso entre precisión y rapidez de cálculo. El modelo propuesto se observa en la Fig. 8, donde T_w corresponde a la temperatura del bobinado, T_h es la temperatura de la carcasa metálica del motor, T_0 es la temperatura ambiente y R_1 y R_2 las resistencias térmicas de conducción entre el bobinado, la carcasa y el ambiente. Por último, m_w y m_h son las masas estimadas del bobinado y la carcasa respectivamente, mientras que c_w y c_h son los calores específicos de ambos elementos.

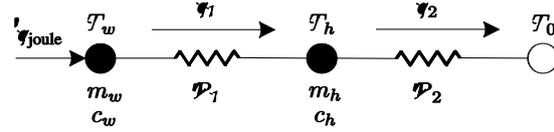


Fig. 8. Modelo térmico

El calor generado en el bobinado por efecto Joule, pasa a través de la carcasa y se disipa en el ambiente.

$$q_1(t) = \frac{T_w(t) - T_h(t)}{R_1} \quad (10)$$

$$q_2(t) = \frac{T_h(t) - T_0}{R_2} \quad (11)$$

$$q_{joule}(t) = \frac{v^2(t)}{R(T_w)} \quad (12)$$

$$m_w c_w \Delta T_w(t) = [q_{joule}(t) - q_1(t)] \Delta t \quad (13)$$

$$m_h c_h \Delta T_h(t) = [q_1(t) - q_2(t)] \Delta t \quad (14)$$

Usando (9)-(14) se pueden estimar las temperaturas en el bobinado y la carcasa. Sin embargo, algunos de estos parámetros (R_1, R_2, m_w y m_h) deben ser ajustados para obtener un modelo preciso del proceso térmico.

IV-B. Ajuste del modelo

Se han realizado varios experimentos para estimar los valores de los parámetros desconocidos del modelo. En estos experimentos se ha aplicado una tensión constante a uno de los motores, mientras se mantenía al PHANToM bloqueado mecánicamente. Durante el experimento se ha registrado la temperatura de la carcasa T_h con un termopar y un data logger de Testo AG, con un periodo de muestreo de 3 segundos. La corriente del motor no se ha medido, pero se conoce una estimación de dicha corriente, ya que la etapa de potencia proporciona una señal de tensión proporcional a la corriente.

La tensión de entrada se fijó en 4.28 V, lo que produce un par de 43 mN·m (8) y una corriente de 1.83 A, esto es, 1.5 veces la corriente máxima en continuo del motor. Sin embargo, la corriente inicial dada por la etapa fue 1.77 A, en vez de 1.83 A. Aunque esto pudo deberse a la baja precisión del sensor, consideramos que el valor de la resistencia fue 2.42 Ω al comienzo del experimento, en vez del valor nominal dado por el fabricante (ver Tabla I). Al final del experimento la corriente observada fue 1.46 A. La temperatura de la carcasa comenzó en 26°C y alcanzó un valor constante máximo de 60°C después de media hora (línea negra en la Fig. 9).

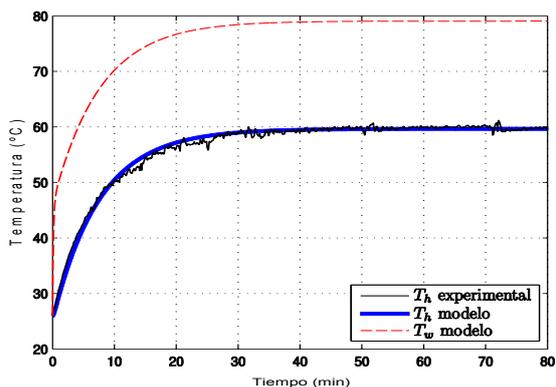


Fig. 9. Temperatura experimental y teórica

Usando la temperatura de la carcasa del motor se ha realizado un proceso de ajuste en Matlab® para afinar los mencionados parámetros (R_1, R_2, m_w y m_h) y asemejar el modelo teórico a los datos experimentales. Estos datos experimentales y las temperaturas en el bobinado y la carcasa dadas por el modelo se muestran en la Fig. 9. El modelo se ajusta correctamente a la curva experimental. Los valores de los parámetros se presentan en la Tabla II.

TABLA II
PARÁMETROS DEL MODELO TÉRMICO

Parámetro	Símbolo	Valor
Resist. térmica bobinado-carcasa	R_1	3.1 K/W
Resist. térmica carcasa-ambiente	R_2	4.9 K/W
Masa del bobinado	m_w	20 g
Masa de la carcasa	m_h	220 g
Calor específico del bobinado	c_w	380 J/kg·K
Calor específico de la carcasa	c_h	450 J/kg·K
Coefficiente térmico de resistividad	α	0.0039 K ⁻¹

IV-C. Discusión

Las Figuras 10 y 11 muestran las estimaciones del modelo para la resistencia eléctrica y la corriente del motor. El valor final estimado para la corriente es 1.46 A. El mismo valor fue registrado por el sensor de corriente de la etapa de potencia. Con estos resultados se espera que la fuerza efectiva percibida por el usuario durante la exploración háptica disminuya con el tiempo, mientras la resistencia aumenta su valor. En este experimento se observó una reducción del 17.5% en la corriente (de 1.77 A a 1.46 A).

Es importante mencionar que, aunque la corriente en el motor está en todo momento por encima de su valor máximo en continuo, la temperatura del bobinado no alcanza los 80 °C, significativamente por debajo del valor máximo admisible dado por el fabricante (125 °C). Este hecho puede ser debido a

que los motores del PHANToM están conectados a otras partes metálicas del dispositivo, y por lo tanto, su capacidad térmica es mayor. Por esta razón, la suma de las masas del bobinado y la carcasa mostradas en la Tabla II es 240 g, mientras que la masa del motor es únicamente 130 g según el fabricante.

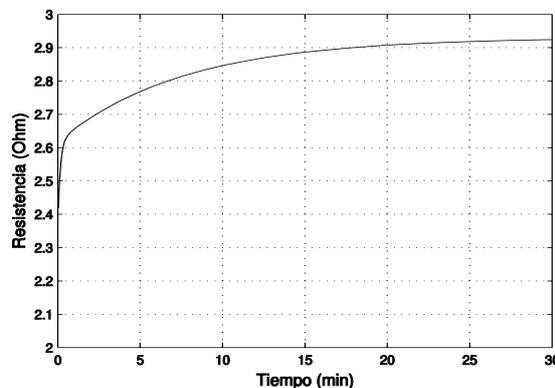


Fig. 10. Estimación de la resistencia del bobinado

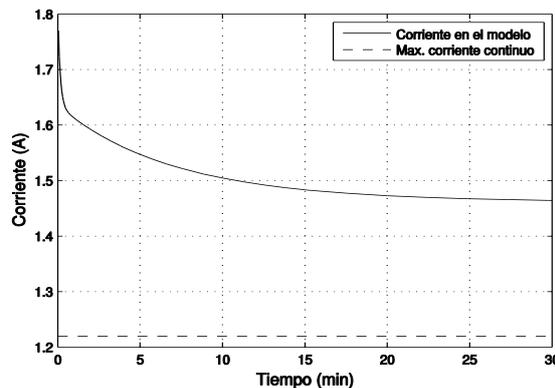


Fig. 11 Estimación de la corriente del motor

Las Figuras 10 y 11 muestran únicamente la primera media hora de simulación. Este tiempo es suficiente para observar los valores de régimen permanente, pero permite además apreciar dos constantes de tiempo muy diferentes en el modelo. La menor de ellas podemos asociarla al calentamiento del bobinado, mientras que la segunda de ellas corresponde al calentamiento de la carcasa:

$$R_1 m_w c_w = 23.56 \text{ s} \tag{15}$$

$$R_2 m_h c_h = 463.54 \text{ s} = 7.72 \text{ min} \tag{16}$$

Los valores tan dispares de las constantes de tiempo se deben a las muy distintas capacidades caloríficas que poseen el bobinado y la carcasa.

En muchas aplicaciones hápticas el escenario virtual se toca solo esporádicamente. Si la exploración háptica es puntual y breve, es difícil

que el usuario llegue a percibir la disminución en la fuerza de contacto debida a la caída de corriente.

IV-C. Validación del modelo térmico

El modelo térmico se ha incluido en el algoritmo háptico de impedancia para compensar la influencia de la temperatura en el comportamiento del dispositivo. El controlador de impedancia se ha programado como un muelle elástico lineal alrededor de un punto fijo. Esto equivale a situar dos muelles unidos al extremo del pantógrafo, uno en cada dirección perpendicular (Fig. 12). Para obtener una entrada constante se ha colgado una masa del extremo del PHANToM (265 g de peso) y se ha elegido una rigidez virtual de 100 N/m. El desplazamiento vertical resultante medido y se ha usado para validar la estrategia de control.

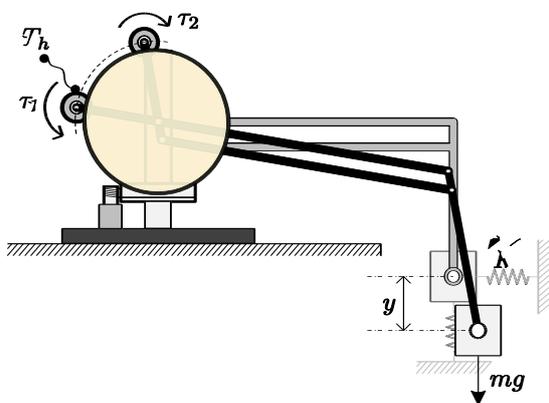


Fig. 12. Esquema del PHANToM y el experimento

Se han realizado seis experimentos de 2 minutos. En tres de ellos se ha corregido la actuación (8) mediante el modelo térmico (9)-(14). Los otros tres se han realizado sin el modelo térmico, usando el valor constante de la resistencia R dado por el fabricante. La Fig. 13 presenta los desplazamientos del extremo del interfaz medidos en los seis experimentos. Los resultados muestran una significativa mejora en el comportamiento del algoritmo de impedancia cuando éste incluye el modelo térmico. También se aprecia el efecto de la cuantización de la señal de control (un entero de 0 a 400 para dar 12 V). El código utilizado se adjunta en el Apéndice A.

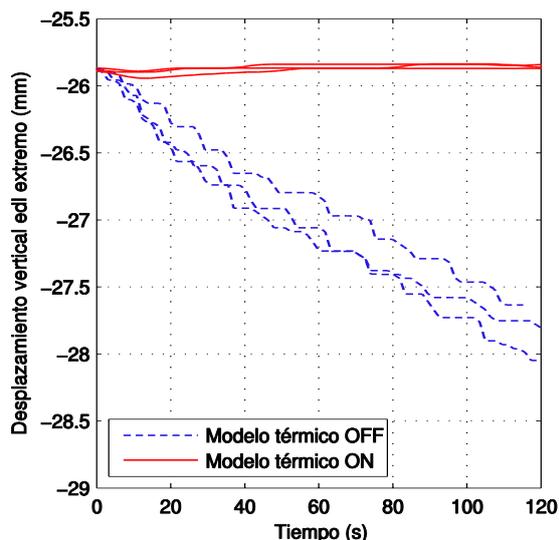


Fig. 13. Comparación del comportamiento del controlador háptico con y sin el modelo térmico

V. PROGRAMACIÓN DE EFECTOS HÁPTICOS

Una vez que se ha descrito cómo introducir pares en el mecanismo aplicando una tensión (apartado III) y cómo corregir la deriva producida por el calentamiento del motor (apartado IV) en este apartado se muestra cómo restituir fuerzas con periodo de muestreo contante usando el Arduino.

En primer lugar, para obtener la posición del mecanismo háptico —el giro $\theta(t)$ del motor en la Fig. 7— se deben contar los pulsos del encoder (en realidad de los dos encoders del pantógrafo). Para ello se ha empleado una librería *Encoder.h* de Paul Stoffregen³. Cada vez que hay un flanco de subida o de bajada en los canales A y B en cuadratura del encoder, esta librería genera una interrupción para actualizar el contador de pulsos.

Como se ha dicho en apartados anteriores, un requisito importante de los sistemas hápticos es que el lazo de control se ejecute a una frecuencia igual o superior a 1 kHz (1 ms de periodo de muestreo). Para implementar un muestreo regular en el Arduino se ha usado un temporizador que genere interrupciones. Esto se hace por medio de la librería *TimerThree.h* versionada por Paul Stoffregen⁴ que usa el Timer3 de 16 bits (el Timer1 no se puede usar porque está ocupado por la librería del amplificador de los motores *DualVNH5019 MotorShieldMega.h*).

³www.pjrc.com/teensy/td_libs_Encoder.html

⁴www.pjrc.com/teensy/td_libs_TimerOne.html

Para comprobar cuál es el periodo de muestreo mínimo que se puede implementar, se ha utilizado la salida digital 13 del Arduino. Al comenzar la interrupción esta salida digital se pone en alto y al acabar las operaciones del controlador (lectura del valor actual de los contadores de encoder, aplicación de la cinemática, cálculo de las fuerzas y los pares, corrección de la temperatura, etc.) se pone en bajo. En la Fig. 14 se observa cómo un periodo de oscilación de 2 ms es casi el umbral inferior para dicho parámetro: las operaciones que realiza el algoritmo de control (en alto) duran cerca de 1.5 ms.

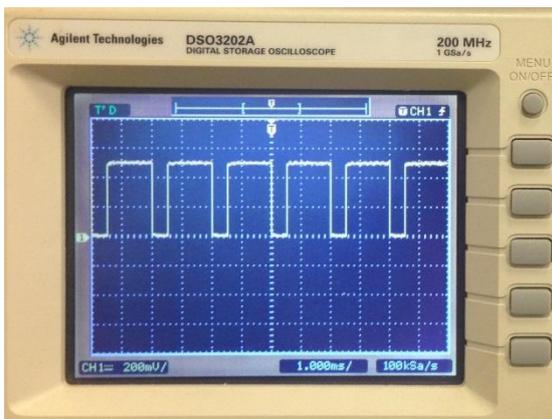


Fig. 14. Salida digital que visualiza la frecuencia del muestreo del controlador

Los efectos hápticos presentados al usuario con una frecuencia de 500 Hz (2 ms de periodo de muestreo) se perciben bien a pesar de que sea un refresco un poco “lento” para el sentido del tacto.

Con estas herramientas, es decir, con las librerías mencionadas, se pueden programar en C diversos efectos hápticos. Los principales efectos que se pueden combinar son rozamientos, rigideces, viscosidades e inercias, que corresponden a fuerzas constantes o proporcionales a la posición, la velocidad o la aceleración.

A modo de ejemplo se muestra el trabajo propuesto para una alumna del laboratorio de robótica del CEIT, que consistió en desarrollar un programa que dividiera el plano de movimiento del pantógrafo en 32 sectores circulares y en cada uno de dichos sectores hubiera un punto de referencia hacia el que se restituyeran fuerzas proporcionales a la distancia a dicho punto (el extremo del pantógrafo se une al punto de referencia por un muelle de rigidez constante). En la Fig. 15 se presenta un esquema de los efectos hápticos programados, pero con sólo 8 sectores y puntos de

referencia en lugar de los 32 solicitados. Se pide que los puntos de referencia estén situados de forma equidistante en un círculo de radio 3 cm.

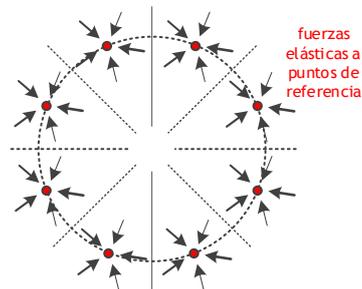


Fig. 15. Ejemplo de programa con efectos hápticos

Como resultado la persona que manipula en interfaz se puede mover alrededor del círculo formado por los puntos de referencia y siente las fuerzas como si la superficie del círculo sobre el que se mueve estuviera dentada. En el Apéndice B se presenta el código programado por la alumna.

La aplicación desarrollada es un ejemplo de renderizado de fuerzas elásticas en entornos virtuales. De manera análoga se pueden diseñar modelos de interacción háptica de lo más variados según la aplicación virtual que se desee desarrollar [10].

VI. CONCLUSIONES

En esta publicación se ha diseñado, desarrollado y validado un controlador háptico educacional de bajo coste. El sistema es un banco de ensayos útil para ingenieros mecánicos, electrónicos y de control para aprender y practicar múltiples campos de la ingeniería.

Se ha descrito en profundidad la plataforma electrónica, dando explicaciones técnicas detalladas de sus componentes. Esto permite a los estudiantes modificar fácilmente los distintos elementos y, eventualmente, construir sus propios controladores. Para validar la plataforma se ha utilizado un PHANToM Premium 1.0. El amplificador elegido funciona en modo tensión, debido a su menor precio. Ello conlleva algunas desventajas, como la disminución de la fuerza ejercida por el aumento de la temperatura del motor. Para contrarrestar este efecto se ha incluido un modelo térmico en el algoritmo háptico para mejorar el comportamiento del dispositivo. Se han llevado a cabo varios experimentos que muestran la efectividad del modelo, que ha mejorado notablemente el comportamiento del controlador

de fuerza, eliminando el efecto de la temperatura en el par restituído por los motores. Finalmente, el último apartado muestra un ejemplo de aplicación háptica desarrollado por una alumna.

Los futuros trabajos se centraran en el desarrollo de entornos virtuales donde los estudiantes podrán visualizar sus propias creaciones e interactuar hápticamente con ellas.

```
if (motor1 > 400) {
  motor1 = 400;
} else if (motor1 < -400) {
  motor1 = -400;
}
if (motor2 > 400) {
  motor2 = 400;
} else if (motor2 < -400) {
  motor2 = -400;
}
md.setM1Speed(motor1);
md.setM2Speed(motor2);
}
```

APÉNDICE A

Código usado en el experimento de validación del modelo térmico (no se ejecuta con periodo de muestro constante):

```
voidloop() {
  // Pulsos del encoder
  pos1 = encoder1.read();
  pos2 = encoder2.read();

  // Tiempo actual (ms) y periodo de muestreo (s)
  time = millis();
  dT = (time-time_ant)/1000;
  time_ant = time;

  //Ángulos en radianes
  q1 = pos1*pi/14863.258;
  q2 = pos2*pi/14863.258;

  // Posición cartesiana en el plano z-y (metros)
  zy[0] = L*(cos(q1)+sin(q2)-1);
  zy[1] = L*(sin(q1)-cos(q2)+1);

  // Fuerza en Newtons
  Fz = -100.0*zy[0];
  Fy = -100.0*zy[1];

  // Par motor en N·m
  T1 = L*(Fy*cos(q1)-Fz*sin(q1))*0.13456;
  T2 = L*(Fy*sin(q2)+Fz*cos(q2))*0.13456;

  // Modelos térmicos
  qcf1 = (Tcu1_ant - Tfe1_ant)/3.1;
  qfa1 = (Tfe1_ant - Ta)/4.9;
  R1 = R0*(1+0.0039*(Tcu1_ant-Ta));
  Tcu1 = Tcu1_ant+((V1*V1/R1)-qcf1)/(0.02*380)*dT;
  Tfe1 = Tfe1_ant+(qcf1-qfa1)/(0.22*450)*dT;

  qcf2 = (Tcu2_ant - Tfe2_ant)/3.1;
  qfa2 = (Tfe2_ant - Ta)/4.9;
  R2 = R0*(1+0.0039*(Tcu2_ant-Ta));
  Tcu2 = Tcu2_ant+((V2*V2/R2)-qcf2)/(0.02*380)*dT;
  Tfe2 = Tfe2_ant+(qcf2-qfa2)/(0.22*450)*dT;

  // Señal al motor
  motor1 = 1418.4397*R_1*t1;
  motor2 = 1418.4397*R_2*t2;

  // Tensión (V)
  V1 = motor1*12.0/400.0;
  V2 = motor2*12.0/400.0;

  // Actualizar variables
  Tcu1_ant = Tcu1;
  Tfe1_ant = Tfe1;
  Tcu2_ant = Tcu2;
  Tfe2_ant = Tfe2;

  // Saturar actuación
```

APÉNDICE B

Código del programa ejemplo que implementa efectos hápticos:

```
#include <Encoder.h>
#include <TimerThree.h>
#include "DualVNH5019MotorShieldMega.h"

// Declaraciones
floatFy,Fz, distancia;
floatzy[2], zyf[2];
float R_2, R_3;
long pos2, pos3;
float q2, q3;
float t2, t3;
int motor2, motor3;
float phi, alpha, section;
float radio;
float K;
intcontador;
intnumero_sec=32;
floatdesplaz[2];
float L=0.14;
floatangulo=360/numero_sec;
const float pi = 3.14159265359;
int sector;
int led = 13;
inti = 0;

Encoder encoder2(20,21);
Encoder encoder3(18,19);

DualVNH5019MotorShield md;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  md.init();
  Fz=0.0;
  Fy=0.0;
  contador = 0;
  radio=0.03;
  K = 300.0;
  R_2=2.34;
  R_3=2.34;
  t2 = 0.0;
  t3 = 0.0;
  motor2 = 0;
  motor3 = 0;
  distancia = 0.0;
  desplaz[0] = 0.0;
  desplaz[1] = 0.0;

  Timer3.initialize(2000);
  Timer3.attachInterrupt(discreto);
  pinMode(led, OUTPUT);
}

voiddiscreto() {
  digitalWrite(led, HIGH);
```

```

// Obtener coordenadas (z,y)
pos2 = encoder2.read( );
pos3 = encoder3.read( );
q2=pos2*pi/14863.258;
q3=pos3*pi/14863.258;
zy[0]= L*(cos(q2)+sin(q3)-1);
zy[1]=L*(sin(q2)-cos(q3)+1);

// Obtener phi (siempre positivo)
alpha=atan2(zy[1],zy[0])*180/pi;
if (alpha>0) { //1º y 2º cuadrante
phi=alpha; }
else{ //3º y 4º cuadrante
phi=alpha + 360 ; }

//Sector en el que estoy
section= phi/angulo;
sector= floor (section);

//Definir punto de atrape
zyf[0]=radio*cos((angulo/2 +sector*angulo)*pi/180);
zyf[1]=radio*sin((angulo/2 +sector*angulo)*pi/180);

//Fuerza necesaria para ir al punto de atrape y zona
circular de 1 cm radio donde no se devuelven fuerzas
distancia = sqrt(zy[0]*zy[0]+zy[1]*zy[1]);
if (distancia<0.01) {
Fz=0.0;
Fy=0.0;
}
else {
desplaz[0]=zyf[0]-zy[0];
desplaz[1]=zyf[1]-zy[1];
Fz= K*desplaz[0];
Fy= K*desplaz[1];
}

// Par motores en N*m
t2 = L*(Fy*cos(q2)-Fz*sin(q2))*0.13456;
t3 = L*(Fy*sin(q3)+Fz*cos(q3))*0.13456;

// Tensión en V
motor2 = 1418.4397*R_2*t2;
motor3 = 1418.4397*R_3*t3;

// Saturar actuación
if (motor2 > 400) {
motor2 = 400;
} else if (motor2 < -400) {
motor2 = -400;
}

if (motor3 > 400) {
motor3 = 400;
} else if (motor3 < -400) {
motor3 = -400;
}

md.setM1Speed(motor2);
md.setM2Speed(motor3);

digitalWrite(led, LOW);
}

voidloop() { // No hace nada, salvo contar
if(contador<20000){
contador = contador+1;
} else {
contador = 0;
}
}
}

```

REFERENCIAS

- [1] M.A. Srinivasan, *Virtual Reality: Scientific and Technical Challenges*. Washington, DC: National Academy Press, 1995, ch. Haptic Interfaces, pp. 161–187.
- [2] T. Coles, D. Meglan, and N. John, “The role of haptics in medical training simulators: A survey of the state of the art”, *IEEE Transactions on Haptics*, vol. 4, no. 1, pp. 51–66, January 2011.
- [3] U. Hagn, T. Ortmaier, R. Konietzschke, B. Kubler, U. Seibold, A. Tobergte, M. Nickl, S. Jorg, and G. Hirzinger, “Telemanipulator for remote minimally invasive surgery”, *IEEE Robotics Automation Magazine*, vol. 15, no. 4, pp. 28–38, December 2008.
- [4] G. Niemeyer, C. Preusche, and G. Hirzinger, “Telerobotics”, *Springer Handbook of Robotics*, B. Siciliano and O. Khatib, Eds., Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 741–757.
- [5] J.J. Gil, I. Díaz, P. Cíaurriz, and Echeverría, “New driving control system with haptic feedback: Design and preliminary validation tests”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 33, pp. 22–36, August 2013.
- [6] D. I. Grow, L. N. Verner, and A. M. Okamura, “Educational haptics”, *AAAI Spring Symposium-Robots and Robot Venues: Resources for AI Education*, 2007.
- [7] K. B. Shimoga, “Finger force and touch feedback issues index trous telemanipulation”, *Fourth Annual Conference on Intelligent Robotic Systems for Space Exploration*, 1992, pp. 159–178.
- [8] J. E. Colgate and J. M. Brown, “Factors affecting the z-width of a haptic display”, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 4, San Diego, California, USA, 1994, pp. 3205–3210.
- [9] J. J. Gil, I. Díaz, X. Justo and P. Cíaurriz, “Controlador Háptico Educativo basado en la Plataforma Arduino”, *XI Congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica*, Bilbao, Spain, pp. 205–211, June 2014.
- [10] J. K. Salisbury, D. L. Brock, T. Massie, N. Swarup, and C. Zilles, “Haptic rendering: Programming touch interaction with virtual objects”, *ACM Symposium on Interactive 3D Graphics*, Monterey, California, USA, 1995, pp. 123–130.
- [11] J. J. Gil and E. Sánchez, “Control algorithms for haptic interaction and modifying the dynamical behavior of the interface”, *2nd International Conference on Enactive Interfaces*, Genoa, Italy, November 17-18 2005.
- [12] N. Diolaiti, G. Niemeyer, F. Barbagli, and J. K. Salisbury, “Stability of haptic rendering: Discretization, quantization, time-delay and coulomb effects”, *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 22, no. 2, pp. 256–268, April 2006.
- [13] I. Díaz and J. J. Gil, “Influence of vibration modes and human operator on the stability of haptic rendering”, *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 26, no. 1, pp. 160–165, Feb. 2010.
- [14] V. Hayward and K. MacLean, “Do it your self haptics: part I”, *IEEE Robotics Automation Magazine*, vol. 14, no. 4, pp. 88–104, Dec 2007.



Jorge Juan Gil nació en Logroño, España, en 1973. Obtuvo los títulos de Ingeniero Industrial y Doctor Ingeniero Industrial por la Universidad de Navarra, San Sebastián, España, en 1997 y 2003 respectivamente. Su tesis doctoral versa sobre el control y el análisis de estabilidad de sistemas hápticos. Desde la defensa de su tesis trabaja como docente en la Escuela

Superior de Ingenieros de la Universidad de Navarra (TECNUN) y como investigador en el Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas (CEIT). En 2006 realizó una estancia como investigador visitante en el Instituto de Robótica y Mecatrónica de DLR, Múnich, Alemania.

Desde 2013 es profesor titular de la Universidad de Navarra. Actualmente imparte la asignatura de Tecnología de Sistemas y Automática, es Subdirector del Departamento de Mecánica de TECNUN y director del área de Dinámica Experimental y Diseño del CEIT. Sus áreas de investigación son la robótica y la automática.



Iñaki Díaz nació en Beasain, España, en 1980. Completó sus estudios superiores en Ingeniería Industrial y Doctorado en Ingeniería Industrial en TECNUN, la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Navarra, San Sebastián, España, en 2004 y 2008, respectivamente.

Desde el año 2008 es investigador del Departamento de Mecánica Aplicada del CEIT y Profesor Contratado Doctor en TECNUN. Sus líneas de investigación principales se centran en los sistemas hápticos y la cirugía robótica. Es coautor de múltiples artículos en revista con índice de impacto, así como de publicaciones en congresos internacionales de primer nivel. Además es co-inventor de dos patentes en el ámbito de la bioingeniería.



Pablo Ciáurriz nació en Orkoien, España, en 1986. Obtuvo los títulos de Ingeniero Industrial y Doctor Ingeniero Industrial por la Universidad de Navarra, España, en 2010 y 2014 respectivamente. Su tesis estudia la estabilidad de dispositivos acoplados hápticamente y la aplicación de dispositivos hápticos a la tecnología *drive-by-wire*. Es

coautor de varios artículos en revistas con índice de impacto, además de congresos nacionales e internacionales. Desde el año 2014 es investigador del CEIT en el Departamento de Mecánica aplicada.



Xabier Justo nació en Tolosa, España, en 1986. Completó sus estudios superiores en Ingeniería Industrial y Master en Mecánica Aplicada en TECNUN, Universidad de Navarra, San Sebastián, España, en 2009 y 2012 respectivamente. Durante el curso académico 2009/2010 fue director del equipo de Formula Student/SAE en TECNUN. Desde

2011 es doctorando del Departamento de Mecánica Aplicada del CEIT. Sus líneas de investigación principales se centran en diseño mecánico de sistemas biomecánicos. Además es inventor de una patente en el ámbito de la bioingeniería.



Ana López nació en Zaragoza, España, en 1994. Actualmente estudia tercer curso del grado de Ingeniero en Tecnologías Industriales en la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Navarra (TECNUN), San Sebastián, España. En los cursos 2013/2014 y 2014/2015 ha colaborado como alumna interna en el laboratorio de robótica del CEIT.

Capítulo 8

MEMS:del Aula a la Wii

Cecilia Gimeno, Carlos Sánchez-Azqueta, Santiago Celma, Concepción Aldea
 Group of Electronic Design – Aragón Institute of Engineering Research (GDE-i3A)
 Universidad de Zaragoza
 Zaragoza
 {cegimeno, csanaz, scelma, caldea}@unizar.es

Title – MEMS: from the Classroom to the Wii

Abstract– This paper describes a learning experience designed to introduce the students of a Degree in Physics specializing in Micro and Nano Systems to the use of professional tools for the design and characterization of a MEMS (Micro-ElectroMechanical System) through a specific commercial realization: the MEMS used by the well-known gaming platform Nintendo Wii. The project adapts to a teaching environment all the steps leading to the fabrication of a MEMS, from its design using specific software to its experimental characterization after fabrication. It allows an innovative approach by which students carry out a collaborative work in a realistic experience, and it serves to introduce students of a scientific discipline to the tools and workflow typical of the engineering field.

Keywords– Active learning, micro-electromechanical systems (MEMS), professional design tools, realistic learning environment, simulation software.

Resumen– Este trabajo describe una experiencia de aprendizaje diseñada para introducir al estudiante de la asignatura Micro y NanoSistemas del Grado en Física en el uso de las herramientas profesionales para el diseño y caracterización de un MEMS (sistemamicro-electromecánico) a través de una realización

comercial específica: el MEMS utilizado por la conocida plataforma de juegos Nintendo Wii. El proyecto adapta a un entorno académico los pasos conducentes a la fabricación de un MEMS, desde su diseño, utilizando software específico, a su caracterización experimental después de la fabricación. Esto permite desarrollar una iniciativa innovadora en la que los estudiantes llevan a cabo un trabajo colaborativo en una experiencia realista. Otro de los beneficios aportados es que permite introducir a los estudiantes de una disciplina científica en las herramientas y flujo de trabajo típicos del campo de la ingeniería.

Palabras clave– Aprendizaje activo, entorno de aprendizaje realista, herramientas de diseño profesionales, sistemas micro-electromecánicos (MEMS), software para simulación.

I. INTRODUCCIÓN

La declaración de Bolonia [1] fue el punto de partida del proceso de convergencia hacia el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), cuyo fin se produjo en el año 2010. En la actualidad se ha implementado en todos los grados ofrecidos por las universidades españolas.

Una de las consecuencias de este nuevo marco académico es el cambio de paradigma de enseñanza-aprendizaje hacia uno que garantice el

desarrollo de las competencias genéricas y específicas (instrumentales, interpersonales y sistémicas) requeridas en cada titulación y su integración en una sociedad de la información y el conocimiento. Entre las características de este cambio de paradigma podemos destacar: una enseñanza centrada en el estudiante y la elección de la metodología que mejor se adapte a la estrategia de aprendizaje [2].

El principal objetivo de enseñanza en el EEES es ayudar a los estudiantes a aprender de manera autónoma mientras realizan actividades diseñadas específicamente por el profesor para la adquisición de cada competencia; a tal fin, es imprescindible proveer a los estudiantes de entornos que simulen el ámbito profesional de manera realista y en los que puedan desarrollar lo que han aprendido en el aula [3]. En este trabajo se describe una estrategia de aprendizaje implementada para recrear el proceso de diseño y caracterización de un dispositivo micro-electromecánico comercial (MEMS) que se llevaría a cabo en un entorno profesional [4]-[6].

El objetivo de este curso es conseguir que los estudiantes adquieran competencias básicas en técnicas de análisis, diseño y simulación de micro y nano sistemas, que aprendan las distintas etapas de su proceso de fabricación y sus aplicaciones más relevantes. Se hace especial énfasis en los sistemas eléctricos y mecánicos, con micro y nano tecnología aplicada, ya que son la base de los sensores inteligentes, utilizados en innumerables aplicaciones en la actualidad. Como un ejemplo paradigmático podemos citar el acelerómetro que incorporan los mandos de la plataforma de juegos Wii.

Un físico experimental debe conocer no sólo el principio físico de operación de este tipo de dispositivos, sino también su proceso de diseño y fabricación. La asignatura, a pesar de estar circunscrita al ámbito de la Física, tiene una inmediata utilidad en muchas otras disciplinas experimentales.

Las habilidades y competencias que se adquieren en esta asignatura permiten a los estudiantes comprender el principio de operación de los micro y nano sistemas físicos más utilizados en la actualidad. La naturaleza interdisciplinar de este campo se hace evidente en las múltiples áreas de conocimiento involucradas: óptica, mecánica,

electrónica, etc. La naturaleza transversal de su contenido hace que la temática sea especialmente interesante para cualquier estudiante del Grado en Física, independientemente de su itinerario curricular.

Con la intención de lograr que el proceso de aprendizaje sea más estimulante para los estudiantes, se ha elegido un MEMS de entre los que incorpora el conocido mando de la plataforma de videojuegos Wii, el Wiimote, que utiliza una combinación de acelerómetros y detección infrarroja para determinar su posición en el espacio tridimensional [7]. Esta aplicación lúdica y comercial sirve para contextualizar la descripción académica del proceso de diseño, fabricación y caracterización experimental de un MEMS, y en particular de un acelerómetro [8], [9].

Este enfoque innovador permite a los estudiantes matriculados en la asignatura Micro y Nano Sistemas del Grado en Física de la Universidad de Zaragoza familiarizarse con los recursos profesionales utilizados para el diseño y caracterización de un MEMS, a la vez que desarrollan un trabajo colaborativo en un entorno realista.

Los estudiantes han desarrollado un portfolio en el que se cubren los aspectos más relevantes del diseño y la caracterización experimental de un acelerómetro para su uso en el Wiimote, tales como su principio físico de operación y sus aplicaciones a los micro y nano sistemas, las herramientas informáticas utilizadas, o el desarrollo de medidas automatizadas. La elección del portfolio se justifica en el hecho de que es la mayor expresión instrumental de recogida sistemática y ordenada de información durante el periodo de aprendizaje y formación [10]. Es destacable que los estudiantes no sólo adquieren habilidades técnicas de manera global e integrada en un caso realista, sino que también tienen la oportunidad de usar herramientas de diseño profesionales.

La implementación de esta estrategia de aprendizaje introduce a los estudiantes del Grado en Física, caracterizado por tener una importante carga teórica, en las metodologías y herramientas que típicamente se encuentran en el campo de la Microtecnología, lo que hace que mejore su comprensión de los fenómenos físicos mediante la combinación de la descripción analítica y su

TABLA I
Asignaturas por módulos

Módulo	ECTS	Curso	ECTS
Básicas	38	Fundamentos de Física I y II	12
		Laboratorio en Física	6
		Biología/Geología	6
		Química	6
		Informática	6
		Idioma extranjero (B1)	2
Métodos Matemáticos	48	Álgebra I y II	6+6
		Análisis Matemático	6
		Cálculo Diferencial	6
		Cálculo Integral y Geometría	6
		Ecuaciones Diferenciales	6
		Métodos Matemáticos para la Física	6
		Física Computacional	6
Física Clásica	42	Mecánica clásica I y II	7+7
		Electromagnetismo	8
		Ondas Electromagnéticas	6
		Óptica	8
		Termodinámica	6
Estructura de la Materia	45	Física Cuántica I & II	7+8
		Física Estadística	6
		Física del Estado Sólido I & II	6+6
		Física Nuclear y de Partículas	6
		Física Electrónica	6
Técnicas Físicas	24	Técnicas Físicas I, II y III	8+10+6
Optativas	35		
Trabajo fin de Grado	8		

aplicación real. Esto es particularmente importante desde un punto de vista profesional ya que la Microtecnología es un campo natural de empleabilidad para graduados en Física, en el que se integrarán en equipos de ingeniería interdisciplinarios [11].

La experiencia descrita en el presente trabajo ha fomentado la autonomía de los estudiantes en su proceso de aprendizaje, en la planificación e implementación de un proyecto a medio plazo y en la escritura y defensa de un informe de carácter científico-técnico.

El artículo está organizado de la siguiente manera: la Sección I es la introducción, la Sección II detalla la relación de la asignatura con la estructura del

Grado en Física de la Universidad de Zaragoza, la Sección III presenta las metodologías utilizadas en la asignatura y las actividades que se han llevado a cabo y, finalmente, las conclusiones se presentan en la Sección IV.

II. ESTRUCTURA DEL GRADO EN FÍSICA

El Grado en Física de la Universidad de Zaragoza es una titulación de carácter fundamental y proporciona formación en una de las ramas más relevantes de la Ciencia y la Tecnología. Es clave en una sociedad que pretende hacer del conocimiento científico una de las bases de su desarrollo, y ofrece una formación versátil que permite a sus titulados responder a la demanda de capital humano en muchos de los ámbitos de la I+D+i, que será el motor económico de los próximos años. Actualmente, un sector importante de ocupación de los físicos se engloba dentro de la industria de alto valor tecnológico. A esto se une la necesidad de aumentar la competitividad de las empresas, lo que lleva a un incremento de las inversiones en innovación tecnológica (bien vía I+D+i interna, o por adquisición de material y personal tecnológico externos) promovido también desde la administración pública a través de ayudas y programas diversos de cooperación. Especialistas en metrología, electrónica, nuevos materiales, óptica, etc., son cada vez más demandados por la industria.

La orientación del Grado en Física por la Universidad de Zaragoza es generalista dentro del ámbito científico y se articula en torno a los siguientes objetivos [12]:

- Proporcionar conocimiento teórico y experimental de los principios generales de la Física y de las técnicas e instrumentación de uso más habitual, con hincapié en aquellos aspectos de especial relevancia por su trascendencia conceptual o su visibilidad en el entorno científico, tecnológico y social.
- Dotar a los graduados de una formación versátil y polivalente que les capacite para el ejercicio de actividades de carácter profesional en el ámbito científico-tecnológico, incluyendo actividades de investigación, innovación y desarrollo dentro de equipos multidisciplinares.

TABLA II
Asignaturas por años

Año	Primer semestre (ECTS)	Segundo semestre (ECTS)
Primero	Fundamentos de Física I (6)	Fundamentos de Física II (6)
	Química (6)	Laboratorio en Física (6)
	Álgebra I (6)	Álgebra II (6)
	Análisis Matemático (6)	Cálculo Diferencial (6)
	Informática (6)	Biología/Geología (6)
Segundo	Mecánica Clásica I (7)	Mecánica Clásica II (7)
	Cálculo Integral y Geometría (6)	Métodos Matemáticos (6)
	Ecuaciones Diferenciales (6)	Física Computacional (6)
	Electromagnetismo (8)	Ondas Electromagnéticas (8)
	Técnicas Físicas I (3+5)	
Tercero	Física Cuántica I (7)	Física Cuántica II (8)
	Termodinámica (6)	Física Estadística (6)
	Óptica (8)	Optativa (5)
	Optativa (5)	Optativa (5)
	Técnicas Físicas II (4+6)	
Cuarto	Estado Sólido I (6)	Estado Sólido II (6)
	Técnicas Físicas III (6)	Optativa (5)
	Física Electrónica (6)	Optativa (5)
	Física Nuclear y de Partículas (6)	Optativa (5)
	Optativa (5)	Trabajo Fin de Grado (8)
Idioma extranjero B1 (2)		

TABLA III
Asignaturas optativas

Optativa	Semestre	Año
Astronomía y Astrofísica	S1	3º o 4º
Caos y Sistemas Dinámicos no Lineales	S2	
Física Atmosférica	S2	
Física de Fluidos	S1	
Gestión empresarial y proyectos	S1	
Gravitación y Cosmología	S2	
Historia de la Ciencia	S2	
Iluminación y Calorimetría	S2	
Laser y Aplicaciones	S2	
Micro- y Nano-Sistemas	S2	
Microondas: Propagación y Antenas	S1	4º
Prácticas externas	S1-S2	
Aplicaciones de la Difracción e Interferometría	S2	
Dispositivos y Sistemas Fotónicos	S2	
Dosimetría y Radioprotección	S1	
Espectroscopia	S2	
Fenómenos Críticos	S2	
Física Biológica	S2	
Física de Altas Energías	S2	
Física Nuclear y Tecnología	S2	
Geofísica	S2	4º
Mecánica Cuántica	S1	
Sistemas Digitales	S1	

oferta de optatividad del grado se diseñó atendiendo a una serie de criterios de valoración académica entre los que podemos destacar:

- Que posea un carácter transversal.
- Que posea un carácter interdepartamental.
- Que se adapte al mercado laboral o a temas actuales.

Las asignaturas ofertadas, siguiendo los criterios anteriores, se recogen en la Tabla III junto con la información relativa a su recomendación del año para ser cursadas.

La asignatura objeto de este trabajo, Micro y Nano Sistemas, es una asignatura optativa de 5 ECTS indicada para estudiantes tanto de tercero como de cuarto curso del Grado en Física (Tabla III). De esta manera, y de acuerdo con la Tabla I, se puede observar que los estudiantes que se matriculan en esta asignatura tienen un buen conocimiento de los fundamentos de la Física, de métodos matemáticos y de herramientas de programación, así como experiencia suficiente en un laboratorio.

Todo este conocimiento y experiencia de los estudiantes sirve como base para diseñar actividades dirigidas hacia un objetivo central: que los estudiantes adquieran las competencias básicas en técnicas de análisis, diseño y simulación de

El Grado en Física se estructura en 240 créditos ECTS (European System Transfer Credits), de los cuales 60 ECTS tienen un carácter básico, 131 ECTS son obligatorios, 41 ECTS son optativos, y 8 ECTS corresponden a un trabajo de fin de grado que desarrolla competencias transversales e integra conocimientos y habilidades adquiridas a lo largo de toda la titulación. Las distintas asignaturas propuestas se han organizado en módulos, que también se incluyen en la Tabla I. Las asignaturas propuestas tienen carácter cuatrimestral o anual y su duración en ECTS, que se muestran en las Tablas I y II, siguen las directrices establecidas por la Universidad de Zaragoza [13].

El módulo de optativas específicas del plan de estudios consiste en 35 ECTS a cursar por el estudiante, repartidos en siete asignaturas de 5 ECTS cada una. Tres de ellas están pensadas para ser cursadas en el tercer curso del grado y el resto en cuarto. No se han establecido requisitos especiales para cursar las materias optativas ni itinerarios formativos, permitiéndose por lo tanto que el estudiante matricule también en cuarto curso alguna de las asignaturas de tercero. La



Fig. 1. Etapas del Ciclo de Aprendizaje de Kolb y cómo los estudiantes realizan una tarea (ver/hacer) y su respuesta emocional (pensar/sentir).

micro y nano sistemas, haciendo particular énfasis en los sistemas eléctrico-mecánicos.

III. METODOLOGIAS Y ACTIVIDADES

Existen distintas teorías que explican cómo se lleva a cabo el proceso de aprendizaje. Una de las más exitosas y extendidas es el llamado Ciclo de Kolb [14]. Representado en la Fig. 1, establece que para conseguir un aprendizaje efectivo, el proceso de aprendizaje debe cubrir de manera cíclica cuatro etapas:

- Experiencia concreta.
- Observación reflexiva.
- Conceptualización abstracta.
- Experimentación activa.

El Ciclo de Kolb, así como modificaciones suyas, es ampliamente utilizado en educación superior [15]-[17]. Así, para el caso particular de aprendizaje en el campo de la Ingeniería, Harb *et al.* [16] proponen una realización particular del Ciclo de Kolb en el que las cuatro etapas se llevan a cabo mediante el desarrollo de actividades de diversa naturaleza, todas ellas con una sencilla implementación en disciplinas de Ingeniería:

- Historias motivacionales (¿Por qué?).
- Descripción teórica (¿Qué?).
- Convergencia (¿Cómo?).
- Adaptación (¿Y si...?).

La estructura de la asignatura y de las distintas actividades propuestas en él se ha llevado a cabo de manera que siga la implementación de Harb *et al.* del Ciclo de Kolb en disciplinas tecnológicas [18]. Los siguientes apartados están dedicados a su descripción y a detallar cómo encajan en la estructura de Harb *et al.*

A. MOTIVACIÓN

En la adaptación del Ciclo de Kolb realizada por Harb *et al.* para la enseñanza en Ingeniería, la primera etapa se diseña con el objetivo de conseguir atraer la atención de los estudiantes para que los motive y anime a continuar con el proceso de aprendizaje. En particular, Harb *et al.* sugieren el uso de historias motivacionales para las actividades de introducción.

En nuestro caso, se han identificado dos factores clave para la motivación de los estudiantes. Por un lado, las actividades se realizan mediante un conocido dispositivo de videojuegos, el Wiimote, lo que ha sido valorado como muy atractivo por los estudiantes. Además, se ha pedido a los estudiantes que creasen rutinas para establecer comunicación con el Wiimote para recoger información y llevar a cabo su procesamiento posterior, lo que ha supuesto un estímulo añadido ya que les proporciona una serie de herramientas para usar sus propios Wiimotes en proyectos personales.

Por otro lado, la actividad se ha diseñado para reproducir un entorno industrial, de manera que, además de familiarizarse con la fabricación y caracterización de un MEMS, han tenido la oportunidad de manejar herramientas informáticas específicas usadas en la industria. Además, los estudiantes han participado en actividades que incrementan su futura empleabilidad tales como el desarrollo de un proyecto y la escritura y defensa de un informe científico-técnico, contribuyendo asimismo al desarrollo de habilidades y competencias como son el trabajo en equipo o el aprendizaje autónomo.

Debido a la limitada duración del curso y a otras consideraciones, tales como la necesidad de llevarlo a cabo con un presupuesto moderado, algunas etapas del diseño, fabricación y caracterización de un MEMS han sido simplificadas y adaptadas a la naturaleza del curso, pero de manera que se permita a los estudiantes realizar todas las tareas que un diseñador llevaría a cabo en un caso real. En particular, en vez de un acelerómetro, los estudiantes han diseñado un cantiléver, que es su componente básico; además, el prototipo no se ha enviado a fabricar debido a restricciones en el tiempo y en el presupuesto, de manera que los estudiantes han caracterizado un acelerómetro comercial.

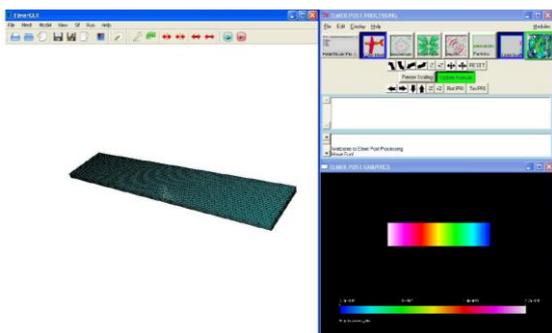


Fig. 2. Captura de pantalla de la herramienta de diseño de MEMS.

B. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Siguiendo la estructura de la adaptación de Harb *et al.* del Ciclo de Kolb, la siguiente etapa busca proporcionar a los estudiantes los fundamentos teóricos básicos para que construyan su aprendizaje. En esta fase, es preferible dirigir a los estudiantes a lo largo de los contenidos teóricos mediante lecciones magistrales y seminarios para conseguir una transición más natural hacia la etapa en la que realizarán contribuciones activas. Durante esta fase se han cubierto dos aspectos fundamentales:

- Descripción teórica de un acelerómetro.
- Revisión de herramientas para el diseño y simulación de MEMS.

Entre los diferentes dispositivos MEMS que forman parte de un Wiimote, se ha elegido un acelerómetro debido a que constituye un nexo de unión natural entre los MEMS y el currículum del Grado en Física; en particular, su caracterización experimental requiere del uso de conceptos de cinemática y mecánica con los que los estudiantes del Grado en Física están familiarizados.

Esta etapa se ha dividido en seis sesiones que cubrieron los siguientes aspectos:

- Tipos de acelerómetros y su principio de operación.
- Tecnologías de fabricación de MEMS.
- Herramientas informáticas para el diseño y simulación de MEMS.

Además de discutir y analizar dichos aspectos, los estudiantes han tenido la oportunidad de trabajar con hojas de especificación de MEMS comerciales, a partir de las cuales han identificado las características principales que definen su

operación; tomándolas como base, los estudiantes han sido capaces de reconocer el principio transductor de cada acelerómetro.

La descripción del compilador de silicio (CADENCE) y el software de diseño (ELMER y SALOME) se ha realizado usando una estructura de seminarios ya que dicha metodología está especialmente indicada para explorar en profundidad y de manera colectiva tópicos con un alto grado de especialización.

Tras esta etapa, los estudiantes cuentan con las competencias instrumentales suficientes para acometer con éxito el diseño del acelerómetro.

C. INTRODUCCIÓN A LAS HERRAMIENTAS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA FÍSICO

El formato del curso ha sido desarrollado para que los estudiantes tengan la oportunidad de participar en la mayor medida posible en el diseño y caracterización de un MEMS implementado en un sistema real como es el Wiimote, a la vez que se mantienen unos módulos lo suficientemente abarcables como para que puedan ser completados a lo largo de las distintas sesiones de laboratorio.

Debido al ajustado calendario y a la complejidad del *layout* de un acelerómetro MEMS, se ha propuesto a los estudiantes que diseñen un cantiléver, que es el elemento básico de la operación de un acelerómetro, de manera que puedan trabajar con las herramientas de *layout* de MEMS que usaría un diseñador profesional (Fig. 2).

Así, los estudiantes trabajan con el programa ELMER para diseño de MEMS [19], que es una herramienta de código abierto para problemas multi-físicos y que usa el Método de Elementos Finitos (FEM) para resolver las ecuaciones en derivadas parciales que describen los modelos físicos de sistemas en dinámica de fluidos, mecánica de estructuras, electromagnetismo, transferencia de calor, etc.; y SALOME [20], un programa gratuito que proporciona una plataforma genérica de pre- y post-procesado para simulaciones numéricas, facilitando la integración de nuevos componentes en sistemas heterogéneos para simulación numérica. Además, una sesión de laboratorio se destina a introducir a los estudiantes en CADENCE (con licencias académicas) [21], un entorno de automatización del diseño electrónico



Fig. 3. Detalle del acelerómetro ADXL335.



Fig. 4. Detalle del actuador robótico Dynamixel AX-12A.

utilizado para el diseño de circuitos integrados, *systems-on-chip* y placas de circuito impreso (PCBs).

D. CARACTERIZACIÓN DEL ACELERÓMETRO ADXL335

Con el objetivo de investigar el comportamiento de un acelerómetro comercial diseñado con técnicas MEMS y compararlo con el encontrado en una de sus aplicaciones más populares, el Wiimote, los estudiantes han explorado las distintas técnicas para caracterizar y determinar experimentalmente la aceleración (angular y lineal) que proporciona el acelerómetro elegido.

Como se ha indicado en el apartado de Motivación, las limitaciones en la duración del curso y el presupuesto han impedido enviar el acelerómetro diseñado a fabricación para su caracterización experimental. En su lugar se ha utilizado un acelerómetro comercial para la realización de la parte experimental del curso. En particular, el acelerómetro escogido para caracterizar es el ADXL 335, fabricado por Analog Devices, Inc. [22] ya que pertenece a la misma familia que el utilizado en el Wiimote. El montaje experimental incluye el acelerómetro bajo test (ADXL 335), un actuador robótico (Dynamixel AX-12A) y una superficie mecanizada sobre la que se coloca el acelerómetro que se caracteriza. La Fig. 3 muestra una fotografía del acelerómetro ADXL 335 y la Fig. 4 muestra una fotografía del actuador robótico Dynamixel AX-12A.

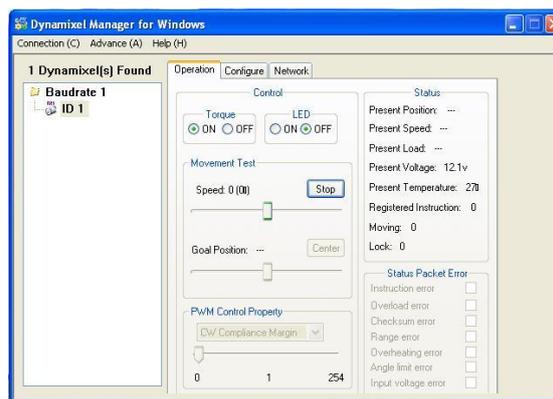


Fig. 5. Captura de pantalla del software Dynamixel Manager.

El actuador robótico está formado por un motor DC de precisión, una reductora y circuitería de control. Cada actuador tiene un microprocesador embebido que facilita la comunicación a través de un bus, información posicional y monitorización de temperatura y carga. Además, el microcontrolador embebido en el Dynamixel cuenta con un conjunto de propiedades configurables por el usuario que permiten adaptar los servos específicamente para cada aplicación; por ejemplo, cuenta con ajuste de velocidad, torque.

El actuador robótico se puede controlar directamente con controladores específicos como CM-2, CM-2+ o CM-5; sin embargo, los estudiantes lo controlan con un PC, lo que hace necesario un sistema para establecer la comunicación con el actuador. El utilizado en esta actividad es el USB2Dynamixel, que se conecta al PC mediante USB y que permite la conexión (con conectores específicos de 3 y 4 pines) de varios Dynamixels para enviar las órdenes necesarias para su funcionamiento.

También es necesario contar con un programa específico para transmitir las órdenes al actuador. Éste es el Dynamixel Manager, que puede ser descargado de manera sencilla de la página web de Robotis (www.robotis.com/usb2dynamixel). Dicho programa permite la elección del modo de operación del Dynamixel AX-12A así como de sus parámetros más relevantes. Una imagen de este software se muestra en la Fig. 5.

La superficie mecanizada sirve para posicionar el acelerómetro y permite su alimentación y conexión con la instrumentación de medida. Un detalle del montaje experimental se muestra en la Fig. 6.

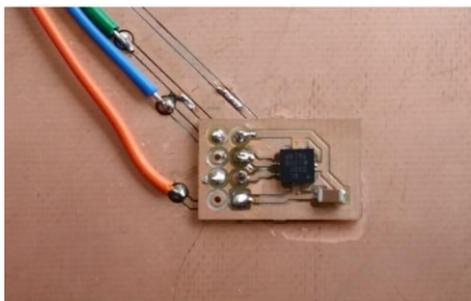


Fig. 6. Detalle de la placa de circuito impresa diseñada para caracterizar el acelerómetro.

En esta sesión de laboratorio, los estudiantes deben caracterizar la aceleración medida por el acelerómetro en los distintos ejes y explicar los resultados obtenidos (tanto de aceleración angular como lineal) en términos de la propiedades de una partícula con movimiento uniformemente acelerado. Deben trabajar con las hojas de especificaciones de los elementos para identificar las principales características del acelerómetro y para determinar su principio físico. De esta manera, los estudiantes se familiarizan con la operación de la instrumentación y el equipamiento electrónico utilizado para caracterizar el acelerómetro, a la vez que testean y analizan la funcionalidad de la PCB usada para la caracterización del acelerómetro, entendiendo la física que hay tras todas las medidas realizadas. En una primera configuración, los estudiantes deben detectar la aceleración normal, para lo que deben situar el circuito integrado que incluye el ADXL 335 de manera que su eje 'y' mida la aceleración normal.

Por último, los estudiantes pueden ampliar el experimento modificando el montaje de manera que éste sea capaz de medir la aceleración de la gravedad (¿Y si...?).

E. CARACTERIZACIÓN DELACELERÓMETRO EN EL WIIMOTE Y COMPARATIVA CON LOS RESULTADOS PREVIOS.

En este módulo los estudiantes realizan los mismos test que hicieron con el acelerómetro, pero en este caso situando el Wiimote sobre la superficie mecanizada.

El Wiimote es el mando controlador que utiliza la plataforma de videojuegos Wii de Nintendo. Lleva incorporado un acelerómetro de tres ejes de Analog Devices, Inc., el ADXL 330 [23], que pertenece a la misma familia que el acelerómetro previamente caracterizado, el ADXL 335. El

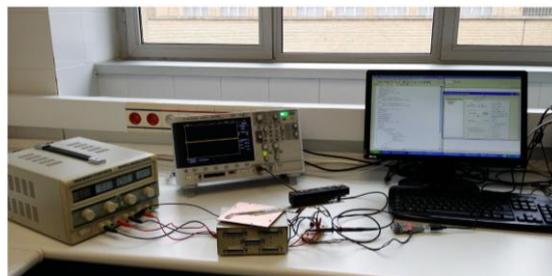


Fig. 7. Montaje experimental para caracterizar el acelerómetro interior del Wiimote.

ADXL 330 es un acelerómetro completo de 3 ejes, pequeño y de bajo consumo que suministra a su salida voltajes acondicionados. Mide la aceleración con una escala completa mínima de $\pm 3g$ y es capaz de medir la aceleración de la gravedad de forma estática en aplicaciones de medida de inclinación así como la aceleración dinámica resultante de movimientos, choques o vibraciones.

Gracias a la conectividad Bluetooth del Wiimote, es posible establecer comunicación entre él y otros dispositivos con esta tecnología inalámbrica. En este caso, los estudiantes utilizan un PC con un adaptador Bluetooth de propósito general (Conceptronics CBT200NANO) para conectar el Wiimote. Para llevar a cabo la comunicación entre el PC y el Wiimote se ha utilizado una aplicación gratuita, llamada GlovePIE. GlovePIE (Glove Programmable Input Emulator) es un programa escrito por Carl Kenner que inicialmente se utilizaba para emular todo tipo de entradas usando todo tipo de dispositivos, entre los se encontraba el Wiimote. GlovePIE proporciona una serie de comandos para comunicarse con el Wiimote y enviar y recibir información, así como algunas directrices de control de flujo, condiciones, lazos..., que posibilitan escribir y compilar programas. Asimismo, el programa es capaz de adquirir datos directamente del Wiimote. Una imagen del montaje experimental se muestra en la Fig. 7.

Así, con el montaje descrito, los estudiantes deben obtener información diversa del Wiimote. En primer lugar, se les pide que obtengan la aceleración en los tres ejes, velocidades angulares y lineales, etc. Además los estudiantes tienen que estimar la posición del acelerómetro dentro del Wiimote a partir de los datos recogidos. Para determinar con precisión la posición del acelerómetro sin la necesidad de desmontarlo, los estudiantes han llevado a cabo un experimento



Fig. 8. Wiimote. El acelerómetro está localizado debajo del botón “A”.

típico de movimiento circular en el que manteniendo el Wiimote en una posición fija, se hace girar con velocidad constante.

Los datos se recogen usando GlovePIE y se envían a un fichero de texto. A partir de ellos los estudiantes deben representar la aceleración centrípeta (o normal) medida por el Wiimote (y que ofrece en m/s^2) frente al cuadrado de la velocidad angular, que se puede obtener a partir del periodo de rotación; la pendiente de la línea recta resultante indica la distancia del acelerómetro hasta el eje de rotación. Los estudiantes deben obtener que la localización del acelerómetro es aproximadamente debajo del botón “A” (ver Fig. 8).

Es importante mencionar que antes de cada experimento es necesario realizar una calibración del acelerómetro, lo que se realiza mediante el programa; el proceso requiere colocar el Wiimote en una superficie estable paralela al eje que se va a calibrar.

Para todo el procesado de los datos experimentales y la extracción de conclusiones, los estudiantes han desarrollado una serie de códigos mediante MATLAB. Una representación del tipo de tratamiento numérico que han tenido que llevar a cabo los estudiantes se muestra en la Fig. 9.

E. INFORME FINAL.

El informe final que se pide realizar a los estudiantes les brinda la oportunidad de documentar y presentar la teoría y los resultados del trabajo desarrollado durante el curso, así como de ganar experiencia en la escritura técnica [24].

Los estudiantes presentan su trabajo con formato de proyecto, de manera que deben analizar el problema, sugerir y aplicar la solución más conveniente y evaluar los resultados obtenidos. El resultado obtenido se debe materializar, en la medida de lo posible, en formato tangible (en nuestro caso el sistema de caracterización del acelerómetro comercial y del Wiimote) y en un

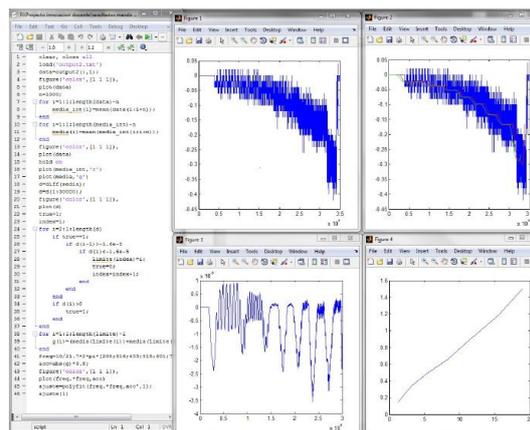


Fig. 9. Representación del tratamiento de datos llevado a cabo por los estudiantes para caracterizar el acelerómetro.

informe escrito. Esto es de gran importancia porque es lo que los estudiantes se encontrarán en su futuro profesional.

El formato sugerido de presentación del informe se proporciona al principio del curso. Las calificaciones están basadas en el desempeño individual y del grupo. Los estudiantes reciben calificaciones individuales de su labor desempeñada en el laboratorio, de los ejercicios de autoevaluación y en las presentaciones, mientras que todos los miembros de un grupo reciben la misma calificación en su informe final. De esta manera, por tanto, se enfatiza tanto el trabajo individual como el desempeño colectivo.

IV. RESULTADOS

Evaluar un proceso de enseñanza-aprendizaje sirve para determinar los aprendizajes conseguidos en función de los objetivos que tenemos marcados, y para ello el proceso evaluativo deberá ser continuo para aportar la realimentación necesaria al proceso de adquisición de conocimientos, comprensivo y diversificado en métodos y debe ser pensado también como una actividad de aprendizaje. La evaluación se realiza mediante un e-portfolio que cubre el principio de operación, el proceso de fabricación y las principales aplicaciones del MEMS bajo estudio, estructurado de manera que sea fácilmente exportable a formato Wiki. Para ello, los estudiantes reciben materiales específicos, alojados en la plataforma de *e-learning* de la Universidad de Zaragoza, que cubren los aspectos más relevantes que se deben reflejar en el e-portfolio, y que sirve como base para la generación de resultados de aprendizaje, por tanto contribuyendo a su autonomía en el aprendizaje.

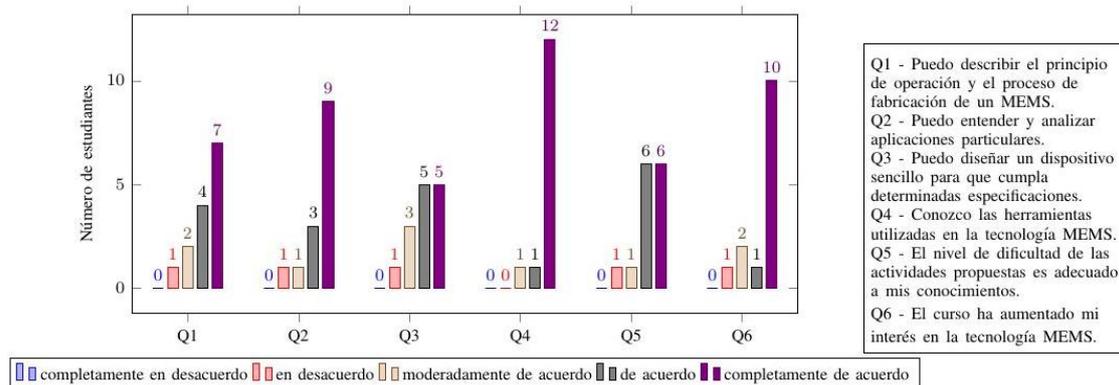


Fig. 10. Resultados del bloque relativo al curso de la encuesta llevada a cabo por la Universidad de Zaragoza entre los estudiantes para evaluar el impacto de la actividad propuesta.

En particular, se busca conseguir cuatro resultados de aprendizaje asociados con los contenidos de la asignatura Micro y Nano Sistemas. Los estudiantes al finalizar el proceso deben ser capaces de:

- Describir el proceso de fabricación de un micro dispositivo.
- Modelar analíticamente un MEMS usando aproximaciones.
- Manejar herramientas informáticas específicas para simulación de MEMS
- Caracterizar experimentalmente un MEMS comercial.

Estos resultados de aprendizaje se han evaluado de maneras diferentes, abarcando desde la realización de cuestionarios específicos diseñados para tal fin, con una distribución temporal acorde al grado de consecución de competencias y que ha permitido tener la realimentación adecuada del proceso de aprendizaje, hasta la exposición oral del trabajo final.

Además, los estudiantes desarrollan competencias genéricas asociadas con el laboratorio de electrónica tales como la comprensión de las hojas de especificaciones de los componentes y los manuales de la instrumentación a utilizar, el montaje de sistemas de test, o la realización de análisis de errores.

El e-portfolio se debe dirigir a enfatizar una serie de actividades programadas:

- Actividad 1: Realización de cuestionarios de autoevaluación en distintas etapas del proyecto.
- Actividad 2: Adaptación de *applets* de Matlab para mostrar las etapas del

proceso de fabricación de MEMS y crear animaciones que muestren su principio de operación.

- Actividad 3: Creación de un poster sobre los MEMS bajo estudio, describiendo su principio de operación, proceso de fabricación y aplicaciones.
- Actividad 4: Realización del diseño de un sistema de adquisición de datos para la caracterización experimental del MEMS bajo estudio.
- Actividad 5: Realización del informe final.

La información obtenida acerca del proceso de aprendizaje de los estudiantes se lleva cabo complementando, con una serie de preguntas específicas, una encuesta realizada por la Universidad de Zaragoza al final de curso. Entre las diversas cuestiones de carácter general acerca del desarrollo del curso, el impacto de la actividad propuesta se evalúa mediante seis aseveraciones (Q1 – Q6 en la Fig. 10) de las que los estudiantes deben indicar su nivel de acuerdo. Los resultados se recogen en la Fig. 10.

Debido a que esta actividad se ha desarrollado en el primer año de impartición del curso, no existe un histórico de las calificaciones obtenidas por los estudiantes que permita construir un gráfico de su evolución; por lo tanto, es difícil evaluar de manera cuantitativa el beneficio obtenido al aplicar la estrategia de aprendizaje propuesta en este trabajo. Sin embargo, se ha realizado una comparativa entre los resultados obtenidos en esta asignatura y en cuestionarios similares llevados a cabo en otras asignaturas en la temática de la Electrónica Física, mostrando mejores resultados que en los cursos en los que los tópicos se han

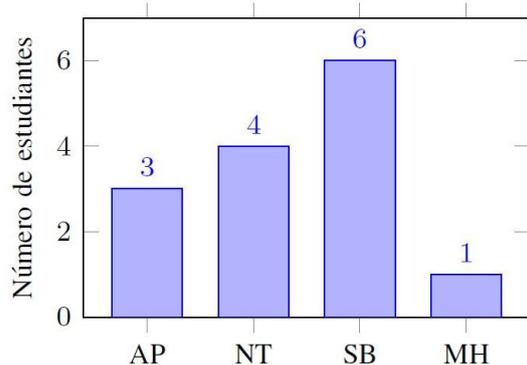


Fig. 11. Resultados académicos obtenidos por los estudiantes en este curso, donde AP, NT, SB y MH corresponden con aprobado, notable, sobresaliente y matrícula de honor.

tratado con un método descriptivo analítico convencional.

Los resultados académicos obtenidos por los estudiantes en este curso se muestran en la Fig. 11, con un 90 % de los estudiantes que han logrado un resultado satisfactorio, y con un 50 % de ellos que han obtenido calificación de sobresaliente. En particular, se ha observado que las competencias más relacionadas con esta actividad han sido desarrolladas en alto grado por los estudiantes, que logran un 95 % de consecución en ellas.

V. CONCLUSIONES

Este artículo presenta una estrategia de enseñanza-aprendizaje que recrea el proceso de diseño y caracterización de un sistema microelectromecánico comercial (MEMS) que sería llevado a cabo en un entorno profesional.

La implementación de esta estrategia de enseñanza-aprendizaje consigue una mejora significativa en los resultados de aprendizaje. En particular, se consigue una mejor comprensión de los fenómenos físicos detrás de la operación de los MEMS mediante una descripción visual que complementa el enfoque analítico convencional; además, la adaptación de *applets* que simulan la fabricación de MEMS permite a los estudiantes adquirir una comprensión más profunda de este proceso. El uso de herramientas específicas de diseño y simulación permite el desarrollo de competencias y habilidades relacionadas con la simulación de MEMS así como de adquisición y procesado de datos, cuya integración en la lección magistral tradicional resulta menos natural.

También permite un acercamiento al método científico (comprensión inicial de la teoría, diseño del MEMS y caracterización experimental) y aplicar conocimientos teóricos de cursos anteriores, llevando a cabo la interrelación entre asignaturas. Todo ello aplicando conocimientos teóricos a sistemas de uso cotidiano.

A pesar de que la actividad se particulariza para estudiantes matriculados en la asignatura Micro y Nano Sistemas del Grado en Física de la Universidad de Zaragoza, este enfoque innovador permite a estudiantes de cualquier disciplina científico-técnica familiarizarse con los recursos utilizados para el diseño y caracterización de MEMS y ganar una valiosa experiencia en un área multidisciplinar entre la Ingeniería y la Ciencia.

REFERENCIAS

- [1] The European Commission, The EU and the Bologna Process –shared goals, shared commitments. Supporting growth and jobs - An agenda for the modernisation of Europe's higher education systems. Brussels: Publications Office of the European Union, 2011.
- [2] J. Brandsford, B. A.L., and R. Cocking, How people learn. Washington, D.C.: National Academy Press, 1999.
- [3] P. A. Kirschner, "Using integrated electronic environments for collaborative teaching/learning," *Learning and Instruction*, vol. 10, Supplement 1, no. 0, pp. 1–9, 2001.
- [4] D. Shaeffer, "Mems inertial sensors: A tutorial overview," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 51, no. 4, pp. 100–109, 2013.
- [5] J. Hilbert, "Rf-mems for wireless communications," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 46, no. 8, pp. 68–74, 2008.
- [6] D. J. Bishop, C. Giles, and G. Austin, "The lucent lambda router: Mems technology of the future here today," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 40, no. 3, pp. 75–79, 2002.
- [7] R. Ochoa, F. G. Rooney, and W. J. Somers, "Using the Wiimote in introductory physics experiments," *The Physics Teacher*, vol. 49, no. 1, pp. 16–18, 2011.
- [8] S. Cass, "Mems in space," *Spectrum, IEEE*, vol. 38, no. 7, pp. 56–61, 2001.
- [9] S. Cass, "Large jobs for little devices [microelectromechanical systems]," *Spectrum, IEEE*, vol. 38, no. 1, pp. 72–73, 2001.
- [10] A. Collins, "Portfolios for science education: Issues in purpose, structure, and authenticity," *Science Education*, vol. 76, no. 4, pp. 451–463, 1992.
- [11] M. Bereton, The role of hardware in learning engineering fundamentals: An empirical study of engineering design and product analysis activity. PhD thesis, Mechanical Engineering Department, Stanford University, 1998.

- [12] <http://titulaciones.unizar.es/fisica/index.html>
- [13] <http://www.unizar.es/sg/doc/10.1Diretrices000.pdf>.
- [14] D. A. Kolb, *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. New York Prentice-Hall, 1984.
- [15] R. Vince, "Behind and beyond Kolbs learning cycle," *Journal of Management Education*, vol. 22, no. 3, pp. 304 – 319, 1998.
- [16] J. N. Harb, S. O. Durrant, and R. E. Terry, "Use of the Kolb learning cycle and the 4MAT system in engineering education," *Journal of Engineering Education*, vol. 82, no. 2, pp. 70–77, 1993.
- [17] A. Konak, T. K. Clark, and M. Nasereddin, "Using Kolb's experiential learning cycle to improve student learning in virtual computer laboratories," *Computers & Education*, vol. 72, no. 0, pp. 11 – 22, 2014.
- [18] J. Adams, B. Rogers, and L. Leifer, "Microtechnology, nanotechnology, and the scanning-probe microscope: an innovative course," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 47, no. 1, pp. 51–56, 2004.
- [19]] <http://www.csc.fi/english/pages/elmer>.
- [20]] [http://www.salome-platform.org/..](http://www.salome-platform.org/)
- [21] <http://www.cadence.com/us/pages/default.aspx>.
- [22] Analog Devices, Inc., ADXL335 Data Sheet, Rev. B ed., January 2010.
- [23] Analog Devices, Inc., ADXL330 Data Sheet, Rev. A ed., September 2006.
- [24] R. Grundbacher, J. Hoetzel, and C. Hierold, "MEMSlab: A practical MEMS course for the fabrication, packaging, and testing of a singleaxis accelerometer," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 52, no. 1, pp. 82–91, 2009.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha subvencionado parcialmente por la Universidad de Zaragoza bajo el Proyecto de Innovación Docente PIIDUZ 12 1 142.



Cecilia Gimeno nació en Zaragoza, España. Obtuvo la Licenciatura en Física, el Máster en Física y Tecnologías Físicas y el Doctorado en Física por la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España, en 2009, 2010 y 2014 respectivamente.

Actualmente es miembro del Grupo de Diseño Electrónico, del Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A) de la Universidad de Zaragoza y está trabajando en el área de equalizadores para aplicaciones por fibra óptica de plástico. Sus intereses en investigación incluyen el diseño de circuitos microelectrónicos analógico-digital, alta frecuencia, procesamiento de señal, receptores ópticos CMOS integrados y comunicaciones por fibra óptica.



Carlos Sánchez-Azqueta nació en Zaragoza, España. Obtuvo la Licenciatura en Física, el Máster en Física y Tecnologías Físicas, y el Doctorado en Física por la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España, en 2006, 2010 y 2012 respectivamente, así como la Ingeniería en Electrónica por la Universidad Complutense de Madrid,

Madrid, España en 2009.

Actualmente es miembro del Grupo de Diseño Electrónico, del Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A) de la Universidad de Zaragoza. Sus intereses en investigación incluyen el diseño de circuitos integrados de señal mixta, circuitos para comunicaciones analógicas de alta frecuencia, lazos enganchados en fase y circuitos recuperadores de datos y reloj.



Santiago Celma nació en Zaragoza, España. Obtuvo la Licenciatura, el Máster y el Doctorado por la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España, en 1987, 1989 y 1993 respectivamente, todo en Física.

Actualmente es Catedrático en el Grupo de Diseño Electrónico, del Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A) de la Universidad de Zaragoza. Ha co-autorizado más de 90 artículos en revistas y 270 contribuciones a conferencias internacionales. Es coautor de 4 libros y tiene 4 patentes. Aparece como investigador principal en más de 25 proyectos nacionales e internacionales. Sus intereses en investigación incluyen la teoría de circuitos, circuitos integrados de señal mixta, circuitos para comunicaciones de alta frecuencia y las redes inalámbricas de sensores.



Concepción Aldea nació en Zaragoza, España. Obtuvo la Licenciatura en Física y el Doctorado en Física por la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España, en 1990 y 2002 respectivamente.

Trabajó en la industria privada en el área de investigación en fibras ópticas. Actualmente es profesor Titular de Electrónica en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza y es miembro del Grupo de Diseño Electrónico, del Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A) de la Universidad de Zaragoza. Ha co-autorizado un libro, más de 20 artículos técnicos en revistas así como 70 contribuciones a conferencias internacionales. Aparece como investigadora en más de 30 proyectos de investigación nacionales e internacionales. Sus intereses de investigación incluyen el diseño de circuitos integrados de señal mixta, equalizadores en tiempo continuo y circuitos para comunicaciones ópticas de alta frecuencia.

Capítulo 9

Desarrollo de un entorno personal de aprendizaje basado en un laboratorio remoto para el estudio de instrumentación electrónica.

G. Jiménez-Castillo, C. Rus-Casas, F. J. Muñoz-Rodríguez, J. I. Fernández- Carrasco

Departamento de Ingeniería en Electrónica y Automática

Escuela Politécnica Superior de Jaén

crus@ujaen.es

Title– (Development of personal learning environment based on remote laboratory for the study of electronic instrumentation)

Abstract– In this paper the study, design, development and implementation of an app which manages to control through Internet a basic electronics lab bench is presented. The app is part of the design of a Personal Learning Environment based on a remote laboratory which promotes active learning in Electronics. The app allows the remote control of the main instruments that made up an Electronics bench: a power supply, a multimeter, a function generator and an oscilloscope.

Keywords– Personal Learning Environment, PLE, Easy Java Simualtion (EJS), LabVIEW, Electronic Instrumentation, remote laboratory;

Resumen– En este trabajo se presenta el estudio, diseño, desarrollo e implementación de una aplicación web que permite la comunicación remota a través de Internet con los equipos que constituyen un puesto básico de Instrumentación Electrónica. Esta aplicación forma parte del diseño de un entono personal de aprendizaje basado en un laboratorio remoto que fomenta el aprendizaje activo de la asignatura instrumentación electrónica por el estudiante. La aplicación permite el control remoto de las funciones básicas de los cuatro instrumentos de los que consta un puesto básico

del laboratorio: fuente de alimentación, multímetro, generador de ondas y osciloscopio.

Palabras clave– Entorno Personal de Aprendizaje (PLE), Easy Java Simulation (EJS), Labview, instrumentación electrónica, laboratorio remoto;

I. INTRODUCCIÓN

Cada día son más las herramientas que se desarrollan para potenciar y contribuir al proceso de enseñanza y aprendizaje que realiza el estudiante a través de la red. Esta tendencia de enseñanza, cada vez más abierta, flexible e interactiva y basada en el uso de las tecnologías de la información y comunicación, va en aumento progresivamente.

En este contexto han ido evolucionando distintas prácticas docentes enmarcadas en lo que se conoce como *e-learning* [1, 2]. Este último favorece que el estudiante gestione su proceso de enseñanza y aprendizaje. El *e-learning* es una enseñanza abierta, flexible e interactiva basada en el uso de las nuevas tecnologías de la información y comunicación aprovechando todos los medios que ofrece la red de Internet [3]. De esta manera surgió el *e-learning*, que une aspectos pedagógicos y tecnológicos.

Actualmente, en las universidades españolas se apuesta más por la práctica de un aprendizaje mixto, definido por el término *b-learning* (blended

learning) [3, 4]. Este último hace referencia al uso de recursos tecnológicos tanto presenciales como no presenciales para optimizar el resultado de la formación. Es decir, la combinación de clases magistrales y de plataformas docentes que facilitan la docencia virtual en determinadas actividades.

Los docentes frecuentemente nos enfrentamos a continuos procesos de cambio. Entre estos cambios se incorporan tecnologías, herramientas y servicios que abren las posibilidades de comunicación y aprendizaje que nos permiten acceder a la información y a la formación (conocimiento) de una forma personalizada. Por tanto, supone un reto decidir en cada ámbito cuáles son nuestros entornos personales de aprendizaje, también llamados PLE (PLE, por sus siglas en inglés de Personal Learning Environment), para adaptarlos a los estudiantes a los que van dirigidos los recursos que elaboramos con éste fin.

Los Entornos Personales de Aprendizaje pueden ser interpretados de distintas formas dependiendo del ámbito de aplicación. Algunos autores [5] los definen como sistemas que ayudan a los estudiantes a tomar el control y gestión de su propio aprendizaje. Esto incluye el apoyo que los docentes realizan a los estudiantes proporcionando herramientas con las que él gestione aspectos del aprendizaje como: fijar sus propios objetivos de aprendizaje en cada materia, elaborar los contenidos y comprender los procesos que intervienen, incluso comunicarse con otros estudiantes en el proceso de aprendizaje, para lograr así las metas propuestas en cada materia a la que el estudiante se enfrenta. En este trabajo el entorno personal de aprendizaje del estudiante de ingeniería estará formado por distintas herramientas, como es la aplicación web, que aquí se describe, y otras herramientas que faciliten el uso y comprensión del puesto básico de un laboratorio de Electrónica.

El Espacio Europeo de Educación Superior promueve el uso de metodologías educativas y técnicas activas en los Estudios de Grado [6]. Así mismo, en el diseño de los títulos se plantea que se potencie el uso de herramientas para la adquisición de las habilidades y competencias asociadas a cada titulación, como el uso de entornos adaptados a los distintos perfiles de estudiantes en los que se favorece y fomenta el aprendizaje. En este sentido, serán muy importantes las iniciativas en las que el

profesorado ofrezca un entorno personal de aprendizaje en el que el estudiante pueda desarrollar las competencias de acuerdo con sus necesidades, sus habilidades y conocimientos previos.

La experiencia que aporta la realización de prácticas de laboratorio es esencial en la enseñanza en ingeniería, puesto que engarza los contenidos teóricos y prácticos, al mismo tiempo que fomenta el aprendizaje activo. Para los estudiantes de Ingeniería Industrial en su especialidad de Electrónica Industrial las prácticas de instrumentación electrónica en los laboratorios han demostrado una contribución muy positiva para la adquisición de competencias. Si a la experimentación en laboratorio se combinan el uso de las TICs nacen distintas formas de laboratorios distintos a los tradicionales: virtuales y remotos.

Existen varias experiencias en la implementación de laboratorios virtuales y remotos en algunos centros de ingeniería [7, 14]. En estas experiencias se constata que el uso de dichas herramientas desarrolla habilidades en los estudiantes para ‘definir’ su propio estilo de aprendizaje. Además, los laboratorios permiten consolidar los conceptos expuestos en teoría, puesto que los estudiantes entran en contacto con diferentes problemas de ingeniería reales.

La aplicación que aquí se presenta permite la implementación de un laboratorio remoto de instrumentación electrónica mediante el control en un entorno web del puesto básico de un laboratorio de electrónica. El objetivo último es fomentar un aprendizaje activo por parte del estudiante en las asignaturas ligadas a la instrumentación electrónica del Grado de Ingeniería Electrónica Industrial en las que se va a utilizar, para que forme parte de su entorno personal de aprendizaje en estas asignaturas.

El trabajo se ha estructurado de la siguiente forma: en primer lugar se plantea el escenario académico dentro de la titulación, y la evolución de metodología para impartir los créditos prácticos en ingeniería, seguidamente se exponen los objetivos que se persiguen con la realización de la aplicación web desarrollada para continuar con la metodología seguida para abordar estos objetivos, posteriormente se hará una descripción con detalle de la aplicación diseñada y por último se enumeran las conclusiones obtenidas en la implementación

de la aplicación para utilizar de manera remota el puesto del laboratorio.

II. ESCENARIOS DE APRENDIZAJE.

En esta sección se comenzará con una descripción de las características de la titulación en la que se pretende hacer uso de la aplicación web, a fin de mostrar algunos aspectos tenidos en cuenta en su diseño. A continuación, se realizará una descripción de la organización que ofrecen las guías docentes de las asignaturas para planificar tanto los contenidos teóricos como prácticos (figura 1).

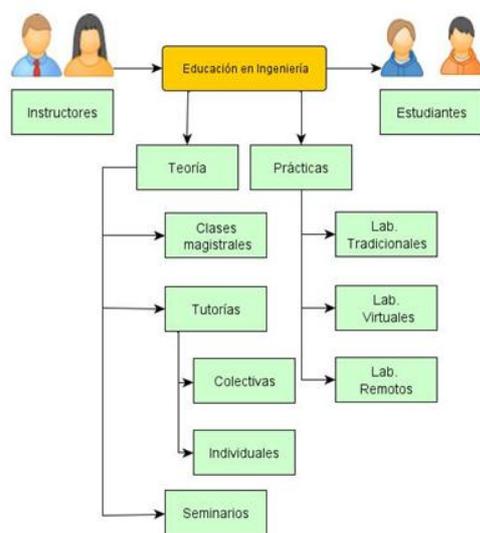


Fig. 1 Herramientas que se pueden adoptar para la formación de una asignatura en el título de Grado en Ingeniería Electrónica Industrial.

Se prestará especial atención, como se muestra en la figura 1, en las distintas opciones para realizar las prácticas que actualmente se ofrecen a los estudiantes que cursan el Grado en Ingeniería Electrónica Industrial: laboratorios tradicionales, laboratorios virtuales y laboratorios remotos.

A. Escenario académico de la Universidad de Jaén en la titulación Grado en Ingeniería Electrónica Industrial.

La Universidad de Jaén, propone el título de Grado en Ingeniería Electrónica Industrial con 240 créditos estructurados en cuatro cursos de 60 créditos cada uno. Cada curso tiene una carga lectiva de 30 créditos cuatrimestrales.

A esta estructura de créditos definida en el marco del Espacio Europeo de Educación Superior, se le ha aplicado un cambio metodológico en el diseño de las guías docentes de cada una de las asignaturas que la integran, con respecto de la

enseñanza tradicional. Los profesores buscan la motivación del estudiante diseñando una manera de aprender diferente, en la cual se pueda acceder a la información y se tengan los criterios para valorarla, sabiendo que es de calidad [15].

En la figura 2, se recoge de manera esquemática la estructura por curso de la naturaleza de los créditos asociados a cada curso.

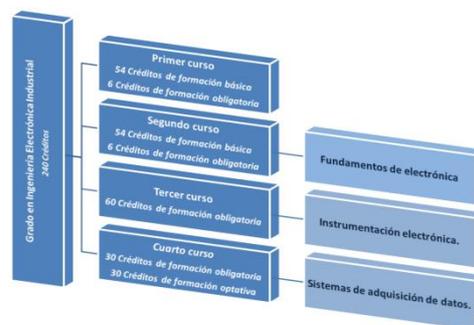


Fig. 2 Estructura que la Universidad de Jaén propone para el título de Grado en Ingeniería Electrónica Industrial.

Además, en la figura 2 se muestran tres asignaturas (Fundamentos de electrónica, Instrumentación electrónica y Sistemas de adquisición de datos), en las que se utilizará la Aplicación web que implementa un laboratorio remoto en el puesto básico de instrumentación electrónica.

La Universidad de Jaén, propone para estas tres asignaturas unos aspectos comunes, en cuanto a competencias y resultados del aprendizaje recogidos en la tabla 1.

TABLA I
COMPETENCIAS Y RESULTADOS DEL APRENDIZAJE COMUNES A LAS ASIGNATURAS DEL GRADO.

COMPETENCIAS
Capacidad para aplicar nuevas tecnologías incluidas las tecnologías de la información y la comunicación
RESULTADOS DE APRENDIZAJE
Saber manejar todos los instrumentos de un puesto básico de laboratorio electrónico (osciloscopio, generador de funciones, multímetro y fuente de alimentación)

En estas asignaturas, los estudiantes deben haber adquirido competencias asociadas al análisis del comportamiento teórico de diversos dispositivos electrónicos, pero será fundamental que dominen el uso del puesto básico del laboratorio de instrumentación electrónica. En caso de no ser así el estudiante será incapaz de verificar el comportamiento real de los componentes. En este caso la aplicación web, que se presenta en esta comunicación, permite acceder al puesto del laboratorio de manera remota con la posibilidad de desarrollar habilidades en los estudiantes

que fomentan un estilo de aprendizaje activo y forme parte de su PLE.

B. Desarrollo de un entorno personal de aprendizaje. Evolución de los laboratorios de instrumentación electrónica.

Como ya se ha comentado, las prácticas de laboratorio son una clave para la formación en el periodo universitario del ingeniero en electrónica industrial. En ese sentido, los laboratorios son considerados por los docentes como elementos fundamentales para la enseñanza. De forma resumida, se puede decir que las prácticas de laboratorio contribuyen a mejorar la adquisición de los conceptos teóricos, a familiarizarse con la utilización de instrumentos tecnológicos y a desarrollar las competencias necesarias para la futura actividad profesional. Así, el estudiante debe adquirir competencias específicas de las características, funcionalidades y estructuras de cada una de las materias incluidas en su titulación. En cambio, el uso y manejo de los instrumentos que forman el puesto básico del laboratorio, es algo que el profesor asume en la planificación docente como una competencia básica en algunos casos y ya adquirida en otros.

Hoy en día, en el ámbito universitario y como ya se ha mencionado, es una realidad el aprendizaje utilizando las TIC. En el caso concreto de la docencia de prácticas, según qué herramientas se utilicen, se suele realizar la siguiente clasificación de los laboratorios: tradicionales, virtuales y remotos.

En el caso de los **laboratorios tradicionales**, el estudiante aprende a poner en práctica sus conocimientos conectando con las situaciones reales. La principal ventaja de realizar prácticas en este entorno es su interactividad, al tomar contacto el estudiante con el montaje real. El estudiante incrementa su motivación en la materia al observar el comportamiento de los dispositivos sometidos a estudio. Aunque presenta la limitación de la cantidad de personas que pueden acceder al laboratorio (figura 3), ya que las prácticas necesitan de una supervisión directa por parte del profesor.

En cambio, otros aspectos desde el punto de vista didáctico no son tan positivos, como la evaluación de la parte práctica de una asignatura que utiliza sólo el laboratorio tradicional. Esta evaluación debe basarse fundamentalmente en un control continuado, por parte del profesorado, que sirva tanto para enseñar al estudiante, como para poder constatar el grado de aprendizaje y asimilación de los conceptos por parte del mismo. En ocasiones, el empleo de las TIC, en este laboratorio pasa por la realización de un test en la plataforma docente de la universidad. Estos test permiten al

estudiante autoevaluarse antes y/o después de enfrentarse a una práctica.



Fig. 3 Fotografía del puesto básico del laboratorio de instrumentación electrónica en la Universidad de Jaén.

En los **laboratorios virtuales** se usan aplicaciones o programas para la simulación del comportamiento del circuito electrónico sin necesidad de estar presente físicamente en el laboratorio. En unos casos son programas en los que se visualizan instrumentos o muestran el comportamiento de los componentes electrónicos bajo estudio. El uso de estos programas, en algunos casos debe ir acompañado de materiales didácticos que muestran al estudiante la forma de abordar el entorno que los rodea [16]. Estos programas hacen que el estudiante compruebe con imágenes o animaciones de manera sencilla cada uno de los objetivos planteados en la asignatura. El resultado de los laboratorios virtuales pueden ser en unos casos aplicaciones informáticas que se ejecuta en un ordenador, de manera local u online. En otros casos, son programas comerciales de simulación electrónica, figura 4, en los que el estudiante puede insertar los componentes electrónicos que forman el circuito que desea estudiar y posteriormente colocar unos terminales que le permitan comprobar los valores de algunas magnitudes como la tensión, la intensidad. Por tanto, el laboratorio virtual es una herramienta de autoaprendizaje donde el estudiante altera las variables de entrada, puede configurar y personalizar nuevos experimentos.

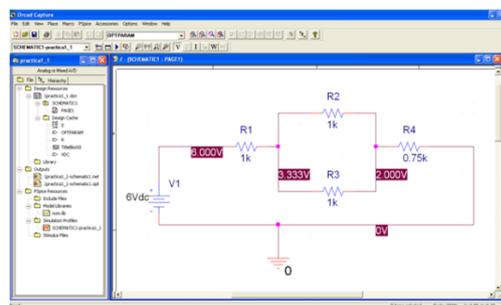


Fig. 4 Ejemplo de laboratorio virtual con el programa Orcad Pspice.

El laboratorio virtual fomenta el trabajo personal del estudiante. Además, permite que el estudiante tenga un horario de prácticas flexible. El uso del laboratorio virtual en la docencia de los Grados de Ingeniería es un complemento eficaz de las metodologías convencionales, pero no pueden sustituir la experiencia práctica del laboratorio tradicional, ya que, entre otras razones, el comportamiento de los dispositivos que se somete a ensayos es prácticamente ideal.

En los laboratorios remotos el estudiante utiliza para la realización de las prácticas un sistema de instrumentación real de laboratorio, pero accede a él de manera remota. El estudiante manipula los recursos disponibles en el laboratorio, a través de una red local o bien a través de Internet que le dará paso a la práctica. Para la realización de las prácticas de manera remota se deben tener en cuenta los elementos que se muestran en la figura 5. El estudiante debe tener una formación previa en los contenidos de la práctica mucho más sólida que en el caso del laboratorio tradicional ya que no dispone del profesor-instructor para que le solucione las dudas que le puedan surgir en el transcurso de la misma. Es importante en el caso de los laboratorios remotos que cada práctica tenga un guión claro para que el estudiante realice una actividad ordenada y progresiva, que le conduzca a alcanzar objetivos concretos planteados.

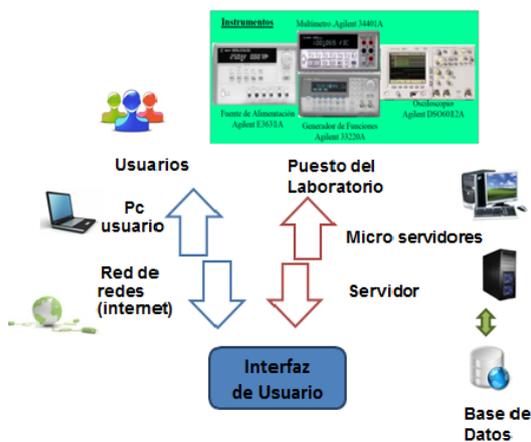


Fig. 5 Estructura básica de un laboratorio remoto.

Con estas premisas, son cada vez más las universidades que apuestan por la implantación de los laboratorios remotos en todas o en parte de las prácticas de laboratorio propuestas, ya que se permiten compartir recursos e infraestructuras, al mismo tiempo que aumenta la flexibilidad horaria [7-14].

III. OBJETIVO Y METODOLOGÍA

En este trabajo, las materias en las que se propone hacer uso del laboratorio remoto son las recogidas en la figura 2, todas ellas relacionadas con la

instrumentación electrónica de forma que los estudiantes de estas asignaturas podrán experimentar con el uso del puesto básico del laboratorio de manera remota.

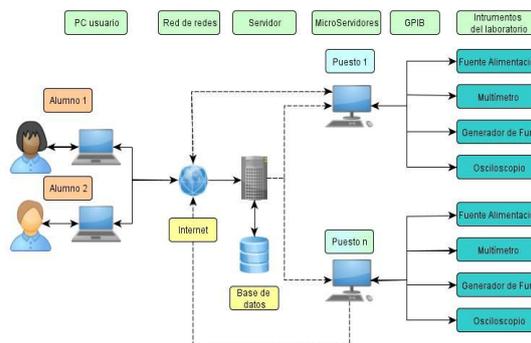


Fig. 6 Arquitectura de la aplicación web que gestiona el laboratorio remoto de instrumentación electrónica.

El trabajo tiene como objetivo el estudio, diseño, desarrollo e implementación de una aplicación web que permita la comunicación con los equipos que constituyen el puesto básico del Laboratorio de una manera remota a través de internet. Con ella se pretende controlar las funciones básicas de los cuatro instrumentos que consta un puesto básico del laboratorio de electrónica: Fuente de alimentación, Multímetro, Generador de Ondas y Osciloscopio.

Para poder abordar este objetivo, la metodología que se ha utilizado es la siguiente:

- Estudiar la funcionalidad del puesto básico del laboratorio de instrumentación electrónica
- Estudiar los protocolos de comunicación usados en el intercambio de información entre los diferentes equipos que constituyen el puesto básico, esquematizado en la figura 6.

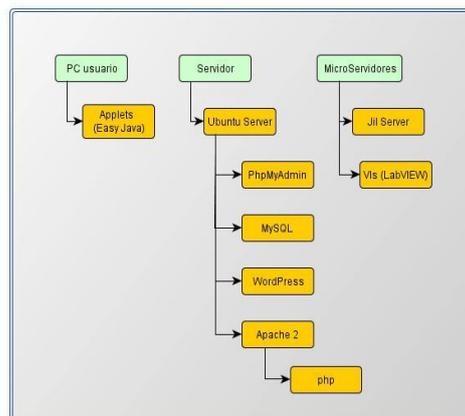


Fig. 7 Software con el que se ha desarrollado la aplicación web que gestiona el laboratorio remoto que controla los instrumentos del laboratorio.

- Definir prácticas que se puedan realizar de manera remota y que permitan realizar

experimentos relacionados con las asignaturas del área de instrumentación electrónica elegidas.

- Elaborar unos guiones adecuados para facilitar al estudiante la realización de manera remota las diferentes prácticas que debe abordar.
- Realizar una revisión sobre los distintos laboratorios remotos existentes, analizando sus diferentes configuraciones y soluciones adoptadas.
- Estudiar y configurar de manera adecuada la conexión entre un servidor web y un ordenador local (denominado en el presente trabajo microservidor) encargado del control de los instrumentos del puesto básico (figura 6). En la figura 7 se muestran todos los programas que se han tenido en cuenta en el desarrollo de la aplicación final

laboratorio físico. Para dar una mayor utilidad a sus posibilidades, se manifiesta la necesidad que estos equipos puedan ser controlados de manera remota a través de un entorno web.

Para describir el software que permite la implementación del laboratorio remoto, se utilizará el esquema mostrado en la figura 7. A la derecha de la figura 7 se encuentran las dos aplicaciones locales (alojadas en el ordenador del puesto del laboratorio (microservidor).

La primera aplicación ha sido desarrollada para la comunicación entre los instrumentos del puesto del laboratorio de electrónica y el ordenador asignado a cada puesto básico. Se ha realizado con el software comercial LabVIEW, figura 8.

Este software proporciona los drivers de cada uno de los instrumentos del laboratorio, con lo que la tarea de implementar el protocolo de comunicación es sencilla. Estos drivers son instrumentos



Fig. 8 Apariencia de los instrumentos virtuales desarrollados en labVIEW para el control de los instrumentos del laboratorio.

IV. DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN Y EJEMPLO DE UTILIZACIÓN

El Laboratorio de instrumentación electrónica dispone de equipos que ofrecen una variedad de funciones que los hacen muy versátiles y de gran utilidad. Hasta el momento se habían realizado algunas experiencias docentes que usaban instrumentos virtuales y permitían el manejo del puesto del laboratorio desde el ordenador local [18y 19]. Con estas aplicaciones es necesario que el usuario esté presente y los maneje desde el

virtuales preprogramados con los que a través de comandos SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) se permite programar y configurar de manera rápida y eficiente los instrumentos programables.

Siguiendo con la misma filosofía en todo el trabajo, la parte desarrollada con LabVIEW está realizada de manera jerárquica y modular. Por ello, se han establecido dos niveles diferenciados. El propósito perseguido es facilitar la programación

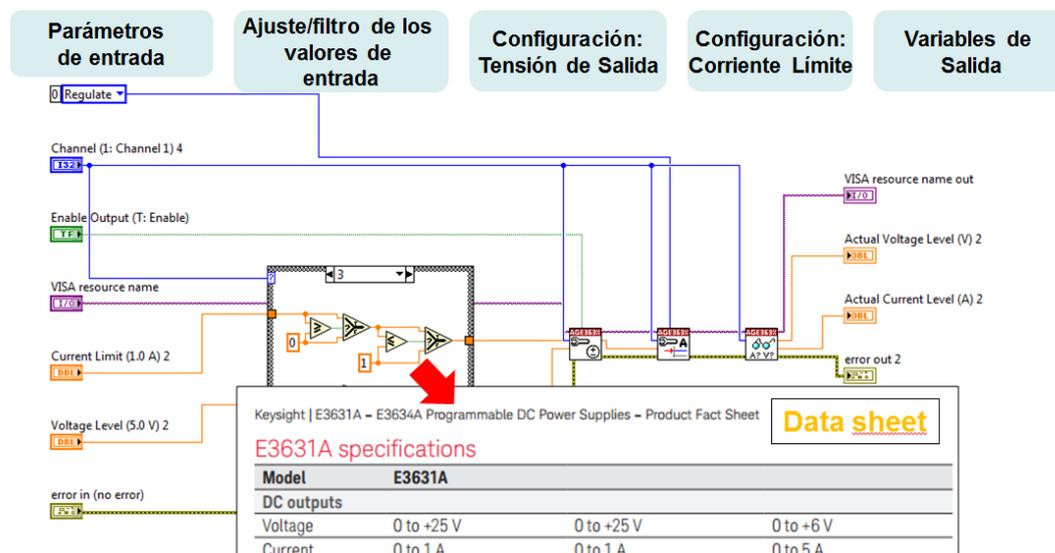


Fig. 9 Control remoto de la fuente de alimentación a través de LabVIEW.

de la aplicación en la etapa de diseño así como la depuración de errores en el periodo de pruebas.

El primer nivel consiste en un VI denominado “principal” que gestiona el control de todos los instrumentos del puesto básico del laboratorio (Multímetro, Generador de funciones, Fuente de alimentación y Osciloscopio). Este se encuentra dividido en cuatro zonas que se corresponden con cada uno de los equipos del laboratorio que controla (figura 8)

El segundo nivel consta de diferentes subVIs para cada uno de los instrumentos. Como se ha comentado anteriormente, se realiza para facilitar la programación y dividir el programa. Aunque

son subVIs diferentes, se ha optado en todos ellos seguir las mismas pautas de programación, siendo marcadas por las directrices del manejo de los instrumentos físicos en el laboratorio tradicional.

En la figura 9, se muestra el esquema del subVI para el desarrollado del control remoto de la fuente de alimentación. De manera similar a como se haría en un laboratorio tradicional, en primer lugar se dispone de la información de los parámetros de entrada a controlar: activación de la fuente, valor del límite de corriente, tensión de trabajo características/especificaciones del instrumento que se está utilizando. Además se incluye un filtro para no permitir el uso de valores fuera de las especificaciones propias de la fuente utilizada.

En el caso de sobrepasar los límites, se ajustaran al más cercano posible. Una vez analizadas las variables, se pasaría a la tercera parte, en la que se envía información al equipo programable, en el caso de la fuente sería la configuración de salida de tensión y de corriente, con la que se desea alimentar al circuito electrónico que estamos ensayando. Por último, se realiza una consulta al

instrumento de los valores actuales que han configurados, siendo esta información las variables de salida de los subVIs, con ello se puede comprobar que el instrumento se ha configurado de acuerdo a lo indicado.

Además, este VI sirve de enlace con el módulo JIL Server, es decir, es el VI que se conecta con el interoperador (JIL Server) y realiza el intercambio de las variables. Las variables de interoperación pueden ser de entrada (variables de control del VI) o de salida (variables indicadores del VI).

La aplicación está desarrollada para optimizar la comunicación con JIL Sever. Para ello, se han generado una serie de variables lógicas que informan del estado del proceso, como puede ser la finalización de la medida en el caso del osciloscopio y/o multímetro, o de la activación de la señal, para el caso de la fuente de alimentación y/o generador.

Una aplicación que muestra el interfaz gráfico de usuario que se ha desarrollado con Easy Java Simulations (EJS permite diseñar simulaciones interactivas en Java de manera rápida e intuitiva sin necesidad de tener conocimientos avanzados en programación. Es un software libre, concebido para el desarrollo de aplicaciones docentes y persigue el aprendizaje colaborativo entre centros [13, 17].

Esta segunda aplicación tiene una apariencia sobria e intenta reproducir lo mejor posible el funcionamiento de los instrumentos. Como se aprecia en la figura 7, cada uno de ellos sigue la lógica de funcionamiento del instrumento real, siendo accesibles las opciones que se deban usar para su uso.

Todos los instrumentos tienen diferentes ‘niveles de acceso’: el interfaz de usuario, en este nivel se pueden habilitar los instrumentos, seleccionar las

funciones, las comprobaciones de viabilidad de la selección realizada y por último el nivel de la lógica de comunicación entre la aplicación en EJS y la aplicación en LabVIEW.

La comunicación entre las dos aplicaciones anteriormente mencionadas, la aplicación desarrollada en LabVIEW y el interfaz gráfico de usuario, se consigue con el servidor JiL Sever, que se ha desarrollado por medio de EJS, JIL Server es una aplicación en desarrollo [13], pero de distribución gratuita. Este módulo de comunicación genérico implementa la capa de comunicación necesaria para publicar los datos del instrumento virtual (VI) de LabVIEW, de forma que JIL server publica las variables de los instrumentos virtuales desarrollados en LabVIEW en Internet.

Posteriormente, los estudiantes pueden controlar y acceder a las variables publicadas mediante la segunda aplicación

A continuación, se va a explicar la parte central de la figura 7 donde se encuentra el servidor principal, que se encarga de alojar la web del sistema, así como su gestión. En el servidor se mostrará la información más relevante al estudiante acerca del laboratorio remoto, información sobre su uso y enlaces de interés. Su finalidad es informar e introducir al estudiante en el contexto de la experimentación remota antes de trabajar con los instrumentos ubicados en el laboratorio tradicional.

electrónicos. Para ésta funcionalidad, se ha definido la base de datos de los usuarios y las direcciones asignadas a los ordenadores que controlan los instrumentos del laboratorio. En función del rol asignado al usuario, este tendrá acceso a una determinada información y privilegios:

- Rol estudiante: se dispondrá de la información necesaria para la correcta realización de las prácticas que se van a desarrollar, así como acceso a los applets desarrollados de los instrumentos.
- Rol profesor: control de prácticas activas y contenidos.

Para finalizar esta sección se muestra un ejemplo de utilización de la aplicación, mediante la realización de una práctica de manera remota. El circuito propuesto es un circuito básico, planteado en las prácticas de la asignatura fundamentos de electrónica: un rectificador de media onda (figura 10).

El estudiante en esta práctica trabaja con el generador de funciones y el osciloscopio de manera remota. Una vez activados y configurados los parámetros de ambos instrumentos el estudiante comprueba que en el canal 1 del osciloscopio obtiene la señal a la entrada del ánodo del diodo y la señal de salida del cátodo del diodo en el canal 2.

V. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO.

Los laboratorios remotos constituyen una herramienta útil en la docencia del Grado de Ingeniería Electrónica Industrial. Permiten al estudiante, no sólo disfrutar de las ventajas de un laboratorio tradicional, sino que además fomentan el autoaprendizaje para lo que le ofrece un horario mucho más flexible, con lo que forma parte del entorno personal de aprendizaje.

En ese sentido, se ha presentado una herramienta que permite el manejo de manera remota de los equipos del laboratorio de instrumentación electrónica. En las asignaturas que hagan uso del mencionado laboratorio se podrá desarrollar una metodología de aprendizaje mixta o b-learning, en la que se combina la formación presencial con la formación online.

Destacar que la app está terminada pero actualmente se encuentra en fase de depuración. Se les ha entregado a los alumnos de Instrumentación electrónica, asignatura troncal del Grado de Ingeniería electrónica especialidad electrónica Industrial para que la prueben y la evalúen. De los resultados obtenidos en las pruebas de evaluación de la herramienta con estudiantes se puede afirmar que es una herramienta que ellos

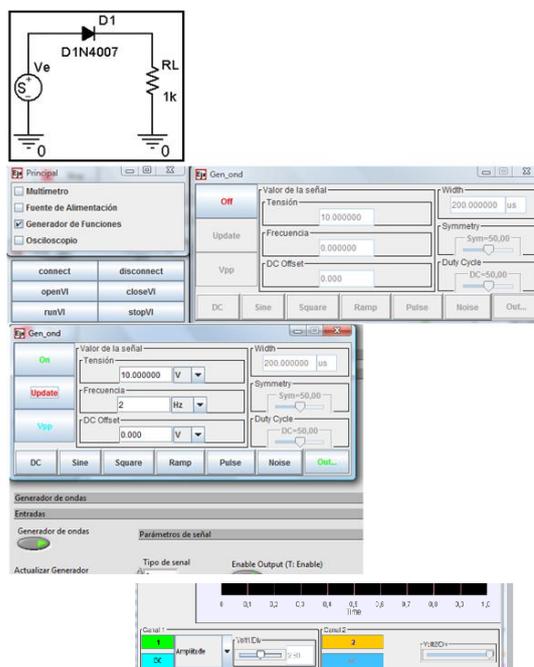


Fig. 100 Secuencia de trabajo para obtener las señales del rectificador de media onda.

El servidor también permite el control de acceso para la manipulación de los instrumentos

valoran positivamente para el aprendizaje de la instrumentación electrónica.

Como trabajo futuro se plantea incorporar el uso de la herramienta en otras asignaturas así como completar el entorno personal de aprendizaje del estudiante con simulaciones desarrolladas en Easy Java Simulation del comportamiento de los circuitos bajo estudio antes de utilizar el laboratorio remoto, lo que permitirá aún más afianzar los contenidos estudiados en las diferentes asignaturas en las que se usen dichas herramientas.

REFERENCIAS

- [1] J. Cabero. Bases pedagógicas del e-learning. Revista de Universidad y Sociedad del conocimiento (RUSC). (Artículo en línea). Vol. 3. Nº1 UOC. <<http://www.uoc.edu/rusc/3/1/dt/esp/cabero.pdf>> (Consulta: 27 de diciembre de 2012)
- [2] M. Rosario Riestra. Estudio sobre las posibilidades de las 'Plataformas para educación virtual' (E-Learning) en el aprendizaje organizacional. Aportes para el diseño de los sistemas educativos. Tesis en Humanidades y Artes. Capítulo 1. Facultad de Humanidades y Artes. Universidad Nacional de Rosario. Pp 16.2009.
- [3] J.Adell. Nuevas tecnologías en la formación presencial: del curso online a las comunidades de aprendizaje. *Curriculum: Revista de teoría, investigación y práctica educativa*, 17, 57-92. (2004).
- [4] M.Aiello, C.Willem.El Blended Learning como práctica transformadora. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 23, 21-26. [en línea] Disponible en: <http://www.sav.us.es/pixelbit/articulos/n23/n23art/art2302.htm> [consulta 2007, 15 de marzo] (2004).
- [5] J., Adell, & L. Castañeda, (2010). Los Entornos Personales de Aprendizaje (PLEs): una nueva manera de entender el aprendizaje.
- [6] F.Aliaga, A.Bartolomé, El impacto de las nuevas tecnologías en Educación, en: Escudero, T.; Correa, A. Investigación en Innovación Educativa, 55-88. Madrid: La Muralla. (2006).
- [7] S. Dormido. Control learning: Present and future, *Annu Rev Control* 28, Pp 115-136. (2004)
- [8] Y. Dai, H.Li, J. Hu, Innovative practices on teaching modes in electronic desing skills for information technique students. *Advances in Information Sciences and Service Sciences*. Volume 4, Issue 19, Pp 571-579. 2012,
- [9] O. Reinoso, L.M. Jiménez, S. Fernández de Avila, L. Paya, A. Gil, D. Ubeda. Experiencia en la integración de un laboratorio remoto de control para prácticas docentes a través de internet. e-ABC e-learning sin límites. (En línea) <<http://www.e-abclearning.com/definicion-e-learning>> (Consulta: 27 de diciembre de 2012)
- [10] L. Torre, R. Heradio, C. A. Jara, J. Sanchez, S. Dormido, F. Torres, F. A. Candelas, "Providing Collaborative Support to Virtual and Remote Laboratories," *IEEE Transactions on Learning Technologies*, IEEE computer Society Digital Library. IEEE Computer Society, [http://doi.ieeeecomputersociety.org/10.1109/TLT.2013.20\(2013\)](http://doi.ieeeecomputersociety.org/10.1109/TLT.2013.20(2013)).
- [11] J Garcia-Zubia and G. R. Alves, *Using Remote Labs in Education: Two Little Ducks in Remote Experimentation*. Eds. Universidad de Deusto, Bilbao, ISBN 978-84-9830-335-3. (2011)
- [12] J.García Zubía, "Laboratorio WebLab aplicado a Pla Lógica Programable: WebLab PLD" VI *Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de Electrónica*, TAAE 2004, ISBN: 84-688-7339-X pp: 8. 2004.
- [13] H. Vargas, R. Dormido, N. Duro, S. Dormido-Canto. Creación de Laboratorios virtuales y remotos usando Easy Java Simulations y LabVIEW. "El sistema Heatflow como un caso de estudio". XXVII Jornadas de Automática 1182-1188. (2006)
- [14] F.J. Muñoz, M. Torres, J.V Muñoz., C. Rus, J. D. Aguilar. And J Aguilera. Laboratorio Remoto para el Aprendizaje de los Sistemas Fotovoltaicos Autonomos. X Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, TAAE 2012. <http://taee.euitt.upm.es/actas/2012/navegacion/taee%202012/docs/0174-vf-000059.pdf> .
- [15] J.D. Aguilar, F. Almonacid, C. Rus, P.M. Rodrigo, J.M. Amaro, D. Rufian. Videocasts applied to the teaching of power supplies. X Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, TAAE 2012. <http://taee.euitt.upm.es/actas/2012/papers/2012SEA9.pdf>. DOI: 10.1109/TAAE.2012.6235459
- [16] M. Fuentes, J. D. Aguilar, F. Almonacid,C. Rus."Guía interactiva para el manejo del programa de simulación electrónica" IX Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, TAAE 2010. <http://taee.euitt.upm.es/actas/2010/> . https://www.researchgate.net/publication/236006255_GUA_INTERACTIVA_PARA_EL_MANEJO_DEL_PROGRAMA_DE_SIMULACION_ELECTRONICA
- [17] F. Esquembre. Creación de Simulaciones Interactivas en Java Aplicación a la Enseñanza de la Física.<http://fem.um.es/Ejs/LibroEjs/CD/SimulacionesDelLibro/SimulacionesLibroEjs.html> (Consulta: 12 febrero 2013)
- [18] M. Torres, C. Rus, J.V Munoz., F.J. Munoz. Diseño de una aplicación docente para el control del equipamiento del laboratorio: PC-LAB. *Revista de iniciación a la investigación*. Ini Inv,6:a2 (2011). <http://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/inin/article/view/555>.
- [19] M. Torres, C. Rus, J.V Muñoz., F.J. Muñoz. Desarrollo de un instrumento virtual con fines docentes para la asignatura Sistemas de Adquisición de Datos.. X Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, TAAE 2012. <http://remo.det.uvigo.es/TAAE/images/Actas/docs/0120-vf-000037.pdf>



Gabino Jiménez Castillo.

Obtuvo la doble titulación de Ingeniería Técnica Industrial especialidad Electricidad y Electrónica Industrial, en la Universidad de Jaén. Al finalizar dichos estudios, su esfuerzo fue reconocido obteniendo el mejor expediente de su promoción. Posteriormente cursó también en

la Universidad de Jaén la titulación de Ingeniero Industrial. Continuó su formación en la Universidad Internacional de Andalucía, en la que obtuvo el título del máster en Tecnología de los Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica, titulación en la que se encuentran implicadas varias universidades como la Málaga y la de Jaén. Su perfil y expediente le hizo adjudicatario de una beca de carácter competitivo en el departamento de Electrónica y Automática de la Universidad de Jaén durante el curso académico 2011/2012.

Esta beca, concedida por el Ministerio de educación, le inicia en tareas docentes y de iniciación a la investigación. Desde principios del 2013 trabaja como Ingeniero Electrónico en el desarrollo e investigación en ámbito de la automoción. A principios del 2015 con la realización de varias publicaciones en congresos de reconocido prestigio se matricula en el programa de doctorado en Energías Renovables de la Universidad de Jaén.



Francisco José Muñoz Rodríguez.

Doctor por la Universidad de Jaén e Ingeniero en Electrónica por la Universidad de Granada. Es profesor titular del área de Tecnología Electrónica del Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática de la Universidad de Jaén, en la que imparte clases desde 1999.

La mayor parte de su actividad investigadora se ha centrado en la monitorización y análisis de funcionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos. Así mismo, ha dirigido y participado en numerosos proyectos de innovación docente relacionados con la enseñanza de la electrónica y de los sistemas fotovoltaicos.



Catalina Rus Casas, obtuvo su título de Ingeniera en electrónica por la Universidad de Granada y es Doctora en Ingeniería por la Universidad de Jaén. Es profesora contratada doctora en el Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática dentro del área de Tecnología Electrónica, en la que imparte

clases desde 1996. Toda su actividad investigadora se ha centrado en el estudio y monitorización de sistemas fotovoltaicos. Su formación y experiencia investigadora también se refleja en contribuciones a la docencia en forma de más de 25 publicaciones entre congresos y textos docentes, así como la coordinación, evaluación y participación en casi una decena de proyectos de innovación docente.

Todos estos trabajos y su preocupación por la calidad en la docencia le ha merecido la calificación de excelente en su informe docente, lo que supone un gran reconocimiento en el ámbito educativo. Desde el año 2008, ha sido la impulsora y coordinadora del Plan de Acción Tutorial, para todos los títulos que se imparten en la Escuela Politécnica Superior de Jaén, en la que ejerce su docencia.



Juan Ignacio Fernández Carrasco,

ha ejercido su profesión vinculado a empresas de la automoción como la planta Ford o Valeo Iluminación. En las empresas en las que ha desarrollado su profesión ha recibido incentivos ligados a su destreza en las soluciones técnicas planteadas, en el diseño de protocolos que mejoraban la producción así como la optimización de tiempos en las líneas de producción.

Actualmente está vinculado a la Universidad de Jaén en la que desarrolla su labor de investigación en el Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática, dentro del Centro Avanzado en Energía y Medio Ambiente, en el que da apoyo técnico a ocho grupos de investigación de reconocido prestigio. Su actividad investigadora se ha centrado en la elaboración de ensayos de sistemas fotovoltaicos de distintas tecnologías. También ha participado en proyectos de investigación, contratos con empresas así como la elaboración de prototipos. Además colabora de manera directa en la docencia práctica de distintas asignaturas relacionadas con la instrumentación electrónica y los sistemas fotovoltaicos y en proyectos de innovación docente ligados a estas materias.

Capítulo 10

Web docente: Soporte para el aprendizaje activo con Instrumentación Virtual

Iñigo J. Oleagordia Aguirre

Departamento de Tecnología Electrónica. Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. Bilbao. España.
lj.oleagordia@ehu.eus

José I. San Martín Díaz

Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. Eibar. España.
joseignacio.sanmartin@ehu.eus

Mariano Barrón Ruiz

Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática Electrónica. Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. Eibar. España.
mariano.barron@ehu.eus

Title– Educational web: Support for active learning with Virtual Instrumentation

Abstract– The aim of this work is the edition of the teaching material, using ICTs to study and to learn as well as the application of the Virtual Instrumentation in a LabVIEW environment. The web describes in detail the algorithms, a modular programming and the elements to build an instrument based on Virtual multifunction, which is composed of an oscilloscope, spectrum analyzer, functions generator and a digital frequency meter. This is how a teaching methodology shows the efficacy of 'learning by doing'. A wide range of technical and didactic links are also pointed, all of them having been successfully applied before. In the same way, its implementation is shown by a result together with an evaluation that quantifies the teaching quality and its pedagogic efficacy.

Keywords– Electronic Instrumentation, LabVIEW, Virtual Instrumentation.

Resumen– El objetivo principal de este trabajo es la edición de material docente, empleando las TICs para el estudio, aprendizaje y aplicación de instrumentación virtual implementada en el entorno LabVIEW. En la web se describe con todo detalle los algoritmos, la programación modular y elementos constructivos de un instrumento virtual multifunción formado por un osciloscopio, analizador de espectros, generador de funciones y frecuencímetro digital. En este sentido se está empleando una metodología docente de probada eficacia como es la de aprender haciendo. También se indican diversos enlaces de carácter técnico y didáctico implementados con anterioridad. Del mismo modo, se muestra uno de los resultados de aprendizaje consecuentes de su aplicación junto a una evaluación que cuantifica la calidad docente y eficacia pedagógica de la misma.

Palabras clave– Instrumentación Electrónica, LabVIEW, Instrumentación virtual.

I. INTRODUCCIÓN

Desde una perspectiva generalista y funcional el contenido de una web docente se puede considerar como un material docente distribuido a través de la www, orientado al estudio y aprendizaje mediante la impartición de una asignatura o materia universitaria. Son webs de naturaleza didáctica ya que ofrecen un material diseñado y desarrollado específicamente para ser utilizado en un proceso de enseñanza-aprendizaje. Por lo tanto, podemos confirmar que estos sitios web son materiales curriculares en formato digital que utilizan la www como una estrategia de difusión y de acceso al mismo. En este contexto la página docente se puede considerar como:

- Un sitio web elaborado para guiar o facilitar el aprendizaje de unos determinados conocimientos.
- Un área web pedagógica, adaptada a los usuarios, con contenido científico y tecnológico, comprensible e integrada en un programa didáctico.

La web docente objeto del presente trabajo se aplica en la asignatura optativa de Instrumentación Virtual anteriormente en la titulación de Ingeniero Técnico Industrial en Electrónica Industrial y en la actualidad en la titulación de Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática de la EUITI de Bilbao. Dicha asignatura se imparte mediante la metodología de Aprendizaje Cooperativo Basado en Proyectos (AC&PBL). Los antecedentes a este trabajo se remontan al curso académico 2009/2010 en la experiencia docente centrada en la planificación, puesta en práctica, evaluación y análisis de los resultados de un proyecto realizado conjuntamente con alumnos y profesores de dos centros universitarios de la Universidad del País Vasco UPV/EHU [1], [2].

En su aplicación docente la web implementada pretende ser un factor que ayude a construir y desarrollar un modelo de enseñanza-aprendizaje más flexible, con aprendizaje activo, donde prime más la actividad y la construcción del conocimiento por parte del alumnado a través de una gama variada de recursos que la mera recepción pasiva del conocimiento a través de unos apuntes y/o libros. Este es uno de los retos pedagógicos de la docencia en la Universidad del País Vasco UPV/EHU plasmado en el modelo IKD [3].

Desde un punto de vista pedagógico la interacción con el ordenador debe permitir un margen más amplio de iniciativa entre las propuestas del alumno y las informaciones que recibe del ordenador para modificar sus propuestas, tomar conciencia de sus estrategias y poder corregir algunos de sus errores. De la misma manera debe

inducir en el alumnado un comportamiento más reflexivo sobre todo en lo concerniente a:

- Supervisar su propio aprendizaje.
- Comprometerse a generar hipótesis explicativas.

El ejercicio de la docencia no debe valorarse por el uso de tecnologías; sino por la promoción de la reflexión y comunicación que permita la construcción y aplicación del conocimiento mediante un aprendizaje activo. Como se ha indicado, para su aplicación se ha adoptado la metodología de Aprendizaje Cooperativo Basado en Proyectos. La experiencia de trabajo en el pequeño equipo dedicado a la realización de un proyecto es una de las características distintivas del AC&PBL. En estas actividades grupales el contenido de esta web docente pretende incidir en lo concerniente a:

- Generar un pensamiento de mayor calidad.
- Proporcionar herramientas para aprender a pensar.
- Utilizar el método de investigación para la construcción del propio conocimiento.
- Crear una teoría de la práctica.
- La formación en competencias.
- El aprendizaje en la acción (learning by doing).

II. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE LA PÁGINA WEB

A la hora de diseñar e implementar la aplicación, ha sido necesario seguir un esquema de trabajo dual que compatibilice tanto el entorno didáctico como informático. El entorno didáctico relaciona los objetivos establecidos con los contenidos y metodología a emplear. El entorno informático comprende todo el proceso de implementación del entorno didáctico en un módulo que integre texto, gráficos y programas con una estructura modular.

Desde la perspectiva didáctica se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- **Finalidad formativa.** Esta es la primera característica. Lo que identifica a un material multimedia de naturaleza didáctica respecto a otros sitios web es que ha sido elaborado con la intencionalidad de producir una serie de aprendizajes en el alumnado asociados a diversas demandas y necesidades educativas. El material ha sido diseñado teniendo en cuenta no sólo los aspectos tecnológicos de la asignatura que se imparte, sino también las características del potencial alumnado.

- **Combinar la información con la demanda de realización de actividades.** El material, no sólo debe ofrecer información nocional de modo expositivo, sino que debe incorporar actividades que faciliten un aprendizaje activo. Frente a un modelo de aprendizaje por recepción, se pretende editar un material que estimule el aprendizaje a través de la realización de actividades. Así mismo, el contenido tiene que integrarse en la planificación del programa de la asignatura.
- **Información conectada hipertextualmente.** Entre cada módulo de estudio deben existir conexiones o enlaces que permitan al alumno ir de unas a otras. De este modo el acceso a cada segmento es una decisión que realiza el alumno según sus propios criterios. Dicho de otro modo, el material tendrá que organizar hipertextualmente toda la información para que el alumnado pueda "navegar" a través del mismo de forma no lineal y de este modo permitir una mayor flexibilidad pedagógica en el estudio de cada módulo.
- **Permitir el acceso a una variada información.** El material didáctico distribuido por internet, debe estar conectado o enlazado con otras webs de la red que ofrezcan información relacionada con el contenido temático dentro de la unidad de conocimiento de la asignatura a la que proporciona soporte. Igualmente, dicho material debe ser diseñado teniendo en cuenta que será utilizado en un contexto alejado de la presencia física del profesor

Dentro del *entorno informático*, la implementación de una página, implica seguir una metodología. Dicha metodología incluye, entre otros los siguientes pasos: una adecuada formulación del contenido, definición de los objetivos, análisis de los recursos disponibles, desarrollo de los algoritmos, programación de los mismos, verificación del grado de similitud entre los resultados obtenidos en el ordenador con el modelo matemático y la realidad, flexibilidad y eficacia en el uso de recursos así como portabilidad y compatibilidad con distintos equipos informáticos. Para que la página web pueda ser empleada como un escenario educativo caracterizado por la representación virtual del proceso de enseñanza, el entorno informático converge hacia las siguientes características:

- **Formato multimedia.** El material generado integra textos, gráficos e imágenes fijas.. Ello redundará en que el contenido temático sea más atractivos y motivante al alumnado y por ende facilitador del proceso de aprendizaje.
- **Interactividad para el usuario.** La organización del material permite al alumnado

una secuencia flexible de estudio del módulo, así como distintas y variadas alternativas de trabajo. Es decir, el material elaborado no prefija una secuencia única y determinada de aprendizaje, sino que permite un cierto grado de autonomía y flexibilidad para que el módulo se adapte a las características e intereses individuales del alumnado.

- **Interface atractiva y fácil de usar.** Se ha pretendido realizar un cuidadoso diseño gráfico de la página tanto en sus aspectos formales (color, distribución espacial, iconos, ...) como en su dimensión informativa para facilitar el acceso a cada parte o elemento de la web.

La elaboración de material didáctico, en general, y específicamente una web docente es un proceso que requiere el desarrollo de un proceso permanente de planificación, uso y revisión. Básicamente este proceso se representa en el diagrama en bloques indicado en la Fig.1.

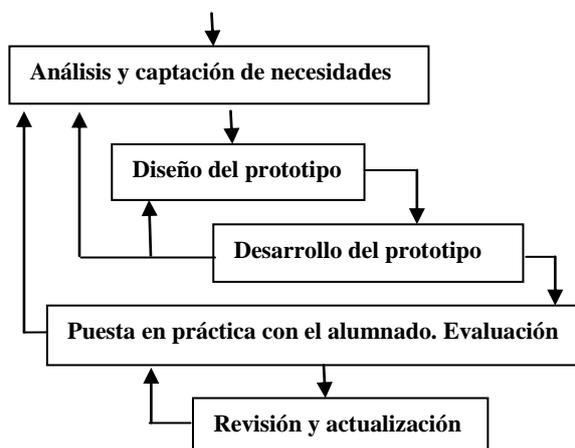


Fig. 1. Fases correspondientes al desarrollo de la página web.

- **Análisis y captación de necesidades.** Corresponde a la recolección de los requisitos y objetivos de cada módulo en particular y de la aplicación en general.
- **Diseño del prototipo.** Abarca los diseños pedagógico e informático.
- **Desarrollo del prototipo.** Es una etapa fundamentalmente informática donde se implementan los distintos algoritmos que fundamentan los programas. Esta fase corresponde a la ingeniería de software donde se incluyen las etapas características de la metodología informática utilizada.
- **Puesta en práctica con el alumnado. Evaluación.** Una vez elaborado el prototipo de la aplicación se necesita una puesta en práctica de la misma que permita cuantificar su operatividad.

III. IMPLEMENATCIÓN Y CONTENIDO DE LA PÁGINA WEB



Fig. 2. Pantalla de acceso a la página web <http://www.ehu.es/es/web/multivir>

La URL <http://www.ehu.es/es/web/multivir> permite acceder al contenido de la página web cuya portada se muestra en la Fig.2. El contenido de la página está articulado en seis secciones:

- **Proyecto.** En esta sección se describe la integración de la aplicación MultiVIR (Instrumento virtual multifunción) y la página web referenciada en el Proyecto de Innovación Educativa PIE 2011-13 titulado “Plataforma multifunción basada en instrumentación virtual para test y medida de circuitos eléctricos y electrónicos”.
- **Tutorial.** Esta sección es la base de la página web por lo que se le dedicará un apartado.
- **Utilización.** Se explica brevemente la funcionalidad de la instrumentación virtual desarrollada. Para profundizar se ofrece un manual de usuario en formato pdf.
- **Descargas.** En esta sección se ofrecen diversos programas fuente y archivos de interés para el aprendizaje de la instrumentación virtual. Entre otros se encuentran almacenados todos los instrumentos virtuales (VIs) que empleando una estructura modular generan la aplicación MultiVIR. El código suministrado es una valiosa fuente de información a partir de la cual el alumnado, trabajando en equipo (metodología AC&PBL), desarrolle mediante un aprendizaje activo sus propios modelos y proyectos.

- **Enlaces.** En esta sección se muestran diferentes enlaces de interés relacionados con la instrumentación virtual. En este contexto es de destacar el enlace a otra página web: [Adquisición de Datos y Acondicionamiento de la señal](#). Es un tutorial dedicado monográficamente a la adquisición de datos y acondicionamiento de señales con instrumentación virtual en el entorno LabVIEW. La exposición de los nueve temas de que consta el tutorial se acompaña de 35 ejemplos (Vis) implementados. Estos VIs junto a los esquemas hardware de tres placas propuestas para realizar experimentos refuerzan los conocimientos básicos necesarios para obtener el máximo rendimiento del material docente que contiene la plataforma MultiVIR.
- **Contacto.** Vía de comunicación con los autores responsables del proyecto.

Como se puede observar en la Fig. 2 la estructura del hipertexto permite acceder al mismo contenido desde varios nodos de la pantalla cuya funcionalidad se completa con la pestaña de **Opiniones** donde los usuarios pueden emitir sus opiniones.

A. Tutorial

El tutorial se ha dividido en los ocho ítems siguientes:

- 1) *Introducción.* Se describe el entorno de desarrollo.

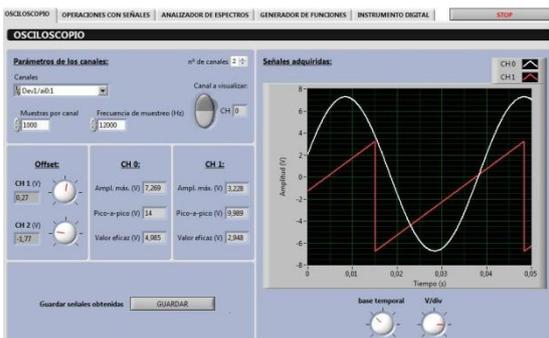


Fig. 3. Panel frontal del osciloscopio genérico de dos canales.

II) *Instrumento Virtual*. Operativamente, un instrumento virtual es un módulo software que a través del panel frontal, interface gráfica de usuario, y mediante subsistemas hardware integrados en el PC, como una tarjeta de adquisición de datos (DAQ), en el presente trabajo, adquiere y/o genera señales, realiza una serie de medidas, procesado y representación de señales. Así mismo se muestra el diagrama de bloques donde se programan los algoritmos que definen la funcionalidad del instrumento virtual.

III) *Osciloscopio*. Se describe el diseño e implementación de un osciloscopio básico genérico de dos canales. Las explicaciones teóricas se acompañan de abundante información gráfica. La adquisición de las dos señales se realiza con una tarjeta de adquisición NI PCI- 6221. Otra alternativa así mismo válida es la utilización de una tarjeta de adquisición basada en un microcontrolador conectado al PC vía serie o USB. En la Fig. 3 se muestra el panel frontal.

IV) *Operaciones con señales*. En el panel frontal, el usuario tiene la posibilidad de realizar y representar la suma, resta, producto o división entre las dos señales adquiridas. La división entre cero se representa gráficamente con el carácter especial*.

V) *Analizador de espectros*. En este ítem, se realiza el análisis en el dominio de la frecuencia de una de las señales adquiridas a través de la tarjeta DAQ.

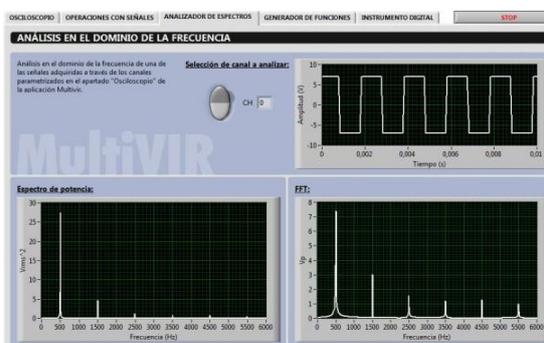


Fig. 4. Representación en el dominio de la frecuencia de la señal seleccionada.

El usuario podrá escoger con qué canal trabajar. Se calcula y representa el espectro de potencia y la FFT de la señal seleccionada, Fig.4.

VI) *Generador de señales*. Este VI genera de forma continua dos señales independientes del tipo: senoidal, cuadrada, triangular y diente de sierra.

VII) *Instrumento digital*. La operatividad del VI implementado es la generación de trenes de pulsos y el conteo de pulsos, pudiendo emplearse como frecuencímetro.

VIII) *Aplicación MultiVIR*. En este último ítem se describe la integración en un único instrumento virtual de los módulos descritos en los apartados anteriores. De esta forma se dispone de un instrumento virtual multifunción.

La frecuencia máxima de trabajo viene condicionada por el tipo de tarjeta de adquisición empleada. En el caso de utilizar la NI PCI-6221 la máxima frecuencia de muestreo es de 250 kS/s por canal. Para los dos canales del osciloscopio corresponde a 125 KS/s para cada canal. En este contexto, aplicando el teorema de Shannon, la máxima frecuencia teórica admitida para cada una de las dos señales analógicas sería de 62,5 KHz, que en la práctica se reduce a 30 kHz. Igualmente para el caso del generador de funciones la frecuencia máxima de cada una de los dos señales generadas es de 2.5 KHz.

IV. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Siguiendo la metodología docente de Aprendizaje Cooperativo Basado en Proyectos (AC&PBL), un proyecto propuesto consistió en el desarrollo de instrumentación virtual para el test y medida de circuitos analógicos. En este apartado se describe brevemente el trabajo realizado fruto de la cooperación entre varios equipos:

- Selección, estudio, análisis y diseño de los circuitos analógicos a medir y testear.
- Diseño y simulación en el entorno Multisim de los circuitos seleccionados.
- Montaje hardware de los circuitos objeto de análisis.
- Desarrollo de la instrumentación virtual a emplear.
- Realización de las pruebas de test y medida.
- Análisis de los resultados.
- Documentación y exposición de las pruebas realizadas.

Los circuitos seleccionados corresponden a tres tipologías: I) Circuitos básicos con amplificadores operacionales (amplificadores de señal, sumadores,

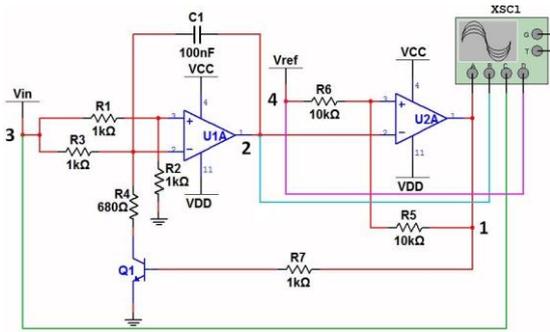


Fig. 5. Circuito esquemático de un VCO en el entorno Multisim.

Schmitt trigger, etc.), II) Generadores de señales (senoidal, astable, VCO, etc.), Circuitos basados en el CI 555 (Astable, Modulador por ancho de pulso, etc). En total han sido 25 los circuitos sometidos a pruebas de test y medida. A modo de ejemplo en las figuras adjuntas se muestran las señales más representativas de test y medida en un VCO, Fig. 5, empleando diferentes entornos.

En la grafica de la Fig.6 se muestran los resultados obtenidos de la simulación operativa de test y media del VCO en el entorno Multisim cuyo estudio, análisis, diseño y cálculo se ha realizado previamente. Completada esta fase se pasa a implementar el circuito en una placa protoboard y con instrumentación tradicional se somete al circuito a las pruebas de test y medida, Fig. 7, comparándose con los resultados obtenidos mediante simulación.

De forma concurrente al empleo de la instrumentación tradicional y con la misma finalidad se emplea la instrumentación virtual. En la Fig. 8 se muestran las gráficas de la señales en los nodos 1 y 2 del esquema del VCO, Fig.5, en el osciloscopio de dos canales de la aplicación MultiVIR.

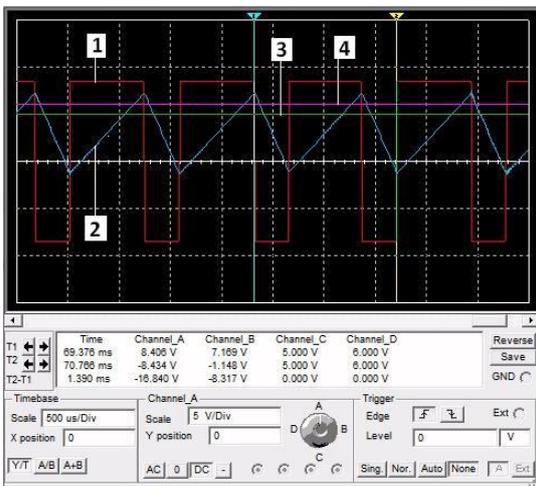


Fig. 6. Señales de test y medida del VCO en el entorno Multisim.

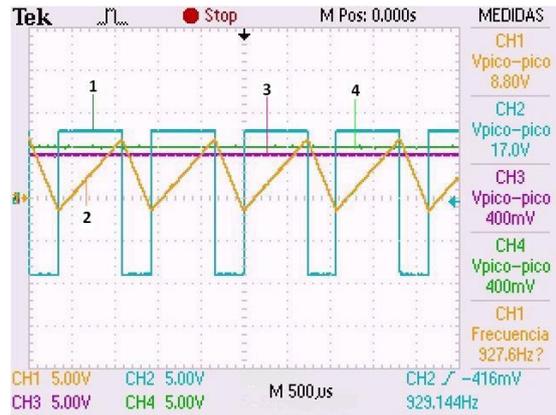


Fig. 7. Señales de test y medida del VCO en un osciloscopio digital.

Continuando con el empleo de instrumentación virtual en la Fig. 9 se plasma la captura de las señales en los cuatro nodos de la Fig 5 con un osciloscopio virtual de 8 canales implementado con anterioridad [5].

Del análisis de las pruebas se deduce la concordancia de los resultados obtenidos mediante simulación, instrumentación tradicional y virtual. Así mismo las pruebas de evaluación realizadas confirman la adecuación docente del entorno implementado.

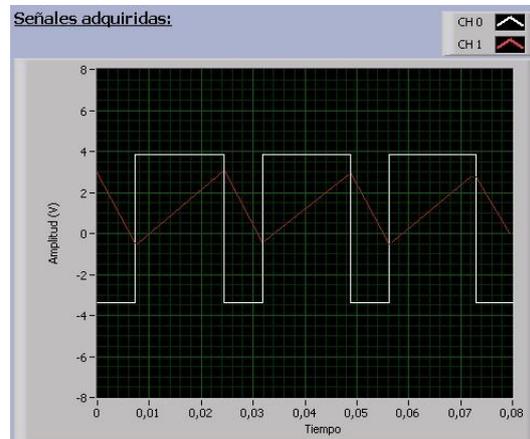


Fig. 8. Señales de test y medida del VCO en el osciloscopio del VI MultiVIR.

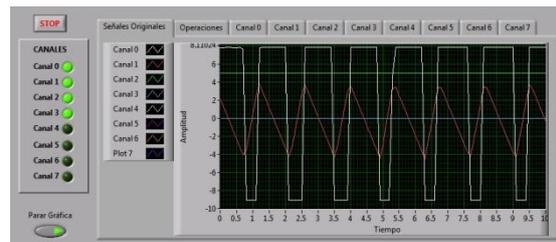


Fig. 9. Señales de test y medida del VCO en un osciloscopio virtual de 8 canales.

V. EVALUACIÓN

El concepto de evaluación se enfoca desde una perspectiva funcional, como una actividad sistemática, válida y fiable sobre la identificación y análisis de los factores e implicaciones que modulan la eficacia docente del material didáctico de la página web implementada. La evaluación se ha realizado sobre 25 alumnos/as de la asignatura de Instrumentación Virtual. Esta prueba piloto se articula en los siguientes apartados:

- 1.- Sobre la propia página web
 - Aspectos funcionales, 6 criterios.
 - Aspectos técnicos, 7 criterios.
 - Aspectos psicológicos, 2 criterios.
- 2.- Relacionado con el aprendizaje
 - El desarrollo y adquisición de habilidades cognitivas y metacognitivas, 7 criterios.
 - El desarrollo y adquisición de competencias, 5 criterios.

Se ha elaborado una rúbrica para evaluar cada uno de los 5 apartados con una valoración de 0 a 10 para cada uno de sus criterios.

Aspectos funcionales

Como se ha referenciado anteriormente, la funcionalidad de esta página web está ligada al objetivo principal cual es la edición de material docente asociado a la enseñanza y aprendizaje activo con instrumentación virtual implementada en el entorno LabVIEW. En este contexto, en esta sección, se han evaluado los siguientes criterios, Fig. 10:

- Eficacia, AF_1.
- Facilidad de uso, AF_2.
- Accesibilidad, AF_3.
- Bidireccionalidad, AF_4.
- Carácter multilingüe AF_5.
- Múltiples enlaces, AF_6.



Fig. 10. Representación gráfica de las valoraciones correspondientes a los aspectos funcionales.

Aspectos técnicos

Los aspectos técnicos se relacionan sobre todo con el planteamiento, construcción, diseño y contenido. Los criterios evaluados en este apartado son, Fig. 11:

- Calidad del entorno, AT_1.
- Calidad y cantidad de los elementos multimedia, AT_2.
- Calidad de los contenidos AT_3.
- Navegación, AT_4.
- Hipertextos, AT_5.
- Ejecución fiable, velocidad y visualización de contenidos, AT_6.
- Originalidad y tecnología avanzada, AT_7.
- Adecuación al entorno docente, AT_8.

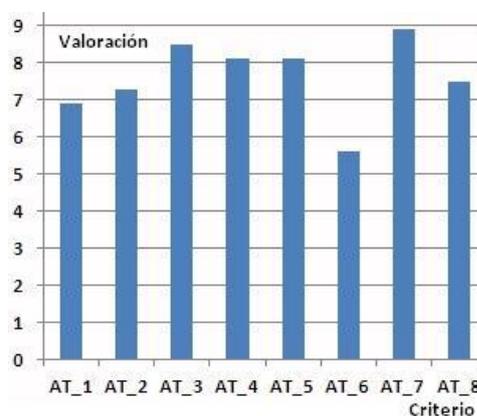


Fig. 11. Representación gráfica de las valoraciones correspondientes a los aspectos técnicos.

Aspectos psicológicos

En este apartado se hace hincapié sobre todo en los contenidos, así como su extensión y organización, que sean adecuados a las características (cognitivas, conocimientos previos, experiencia...) del alumnado. Para ello se han evaluado los dos criterios siguientes, Fig. 12:

- Atractivo APS_1
- Adecuación a los destinatarios APS_2.

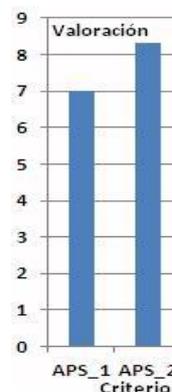


Fig. 12. Representación gráfica de las valoraciones correspondientes a los aspectos psicológicos.

Desarrollo y adquisición de habilidades cognitivas y metacognitivas

Este apartado se ha elaborado con el objeto de obtener indicadores sobre el tipo de tareas y actividades, que siguiendo la metodología de aprendizaje cooperativo basado en proyectos (AC&PBL), se desarrollan en torno a la página web implementada. El acento está en determinar si a través de dichas actividades se potencia en el alumnado el desarrollo de estrategias que estén relacionadas con los procesos de cómo aprenden, ponen en práctica lo aprendido y controlan sus aprendizajes, propiciando el desarrollo de estrategias tanto cognitivas como metacognitivas en la acción formativa. En este apartado se han evaluado los siguientes criterios, Fig. 13:

- Fortalecimiento en el alumnado de las habilidades de investigar, H_1.
- Potenciar en el alumnado las tareas orientadas al trabajo autónomo y capacidad de búsqueda, H_2.
- Fomento en el alumnado de tareas y actividades asociadas al aprendizaje cooperativo basado en proyectos (AC & PBL) H_3.
- Refuerzo de habilidades tipo aprender a aprender, H_4.
- Potenciar en el alumnado habilidades de planificación, H_5.
- Desarrollo de tareas y actividades de enseñanza-aprendizaje de alta demanda cognitiva (reflexión, análisis, síntesis, creatividad, H_6.
- Fortalecimiento en las tareas de estrategias metacognitivas tales como hacer consciente al alumnado de sus estilos de aprendizaje y los mecanismos por los cuales asimilan y ponen en práctica el conocimiento, H_7.

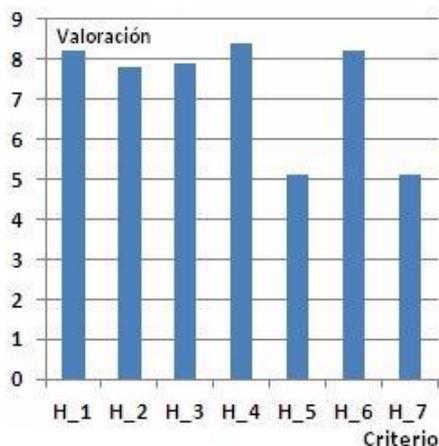


Fig. 13. Representación gráfica de las valoraciones correspondientes a Los aspectos sobre habilidades cognitivas y metacognitivas.

El desarrollo y adquisición de competencias que se potencian mediante el empleo de la página web

Este apartado, nos aproximará a conocer el tipo de actividades que se realizan, en el fondo es verificar de qué manera se están trabajando los objetivos que se relacionan con los contenidos basados en las tecnologías. Los criterios evaluados corresponden a:

- Vincular los contenidos y objetivos curriculares con las actividades de enseñanza y aprendizaje conducentes a la adquisición de las competencias propuestas en la guía docente, AC_1.
- Evaluación de las tareas y actividades asociados al proceso de enseñanza y aprendizaje mediante la metodología AC&PBL, AC_2.
- Empleo de la red Internet para la formación del alumnado, AC_3.
- Empleo de los libros de texto complementando su uso con software educativo y/o recursos electrónicos, AC_4.
- Fomentar el uso del PC, tareas y actividades abiertas que permitan el intercambio y confrontación de punto de vista en el alumnado en el contexto de AC&PBL, AC_5.

En la Fig. 14 se representan los resultados de la evaluación.

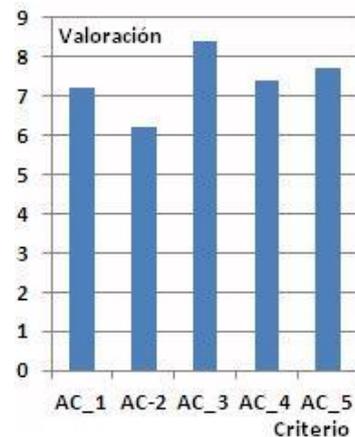


Fig. 14. Representación gráfica de las valoraciones correspondientes a Los aspectos sobre la adquisición de competencias.

VI. IMPLICACIONES SOBRE EL APRENDIZAJE

De los resultados de la evaluación descrita relativa a esta aplicación informática, y de la puesta en práctica de todo el material docente generado en el Proyecto de Innovación Educativa "Plataforma Multifunción Basada en Instrumentación Virtual para Test y Medida de Circuitos Eléctricos y

Electrónicos”, marco en el cual se ha desarrollado la misma, en ese apartado se exponen una serie de reflexiones sobre una propuesta de actuación del profesorado en el proceso de enseñanza y aprendizaje del alumnado empleando las TICs.

De forma resumida se puede describir el aprendizaje como un proceso:

- **Constructivo** donde el alumnado construye su conocimiento a partir de la activación del conocimiento previo, material disponible y, motivación mirando al futuro.
- **Colaborativo**, en el que el alumnado no está sólo. El aprendizaje se produce en un entorno con interacción entre los propios alumnos y éstos con el profesor.
- **Contextual**, el aprendizaje significativo, y su puesta en práctica, se produce cuando el alumno otorga significado a lo que está aprendiendo. El significado se logra cuando se establece la correspondiente relación con el contexto y el alumno asimila lo que está aprendiendo, y sobre todo en ingeniería, pone en práctica lo aprendido. En ingeniería “saber es hacer”.
- **Autodirigido**, la iniciativa del aprendizaje corresponde al propio alumno. Ante este hecho el profesor, hoy más que nunca, es facilitador del aprendizaje y un docente debe preparar oportunidades de aprendizaje para sus alumnos.

Ante el hecho de que el profesorado prepare diferentes estrategias de aprendizaje, se proponen una serie de actuaciones por parte del profesorado, orientadas hacia la adquisición de competencias, que se exponen a continuación.

A Potenciar el desarrollo de estrategias cognitivas en el alumnado mediante actividades tales como:

- Fomentar la habilidad de planificación usando las TICs.
- Proponer en el alumnado actividades orientadas hacia la resolución de problemas en el marco de las TICs.
- Explicar en los resultados de aprendizaje el tipo de habilidades a reforzar cuando se integran las TICs.
- Desarrollar tareas de aprendizaje de alta demanda cognitiva tales como reflexión, análisis, síntesis y creatividad cuando el alumnado emplea las TICs.
- Potenciar en el alumnado tareas, tanto mediante trabajo autónomo como colaborativo, orientadas a potenciar la capacidad de búsqueda de información.

B Potenciar el desarrollo de estrategias metacognitivas tales como:

- Reforzar las habilidades tipo “aprender a aprender”, en las actividades donde el binomio enseñanza-aprendizaje incorporen las TICs.
- Fortalecer en las tareas con apoyo TIC, estrategias metacognitivas, tales como hacer consciente al alumnado de sus estilos de aprendizaje y sobre todo de los mecanismos por los cuales asimilan y procesan la información y por ende adquieren conocimiento y lo ponen en práctica.

C Estimular el aprendizaje, adquisición de conocimientos y su puesta en práctica por parte del alumnado, tales como:

- Vincular los contenidos y objetivos curriculares con las actividades de enseñanza y aprendizaje apoyados en las TICs.
- Utilizar la red Internet para la formación de los estudiantes.
- Trabajar los libros de texto complementando su uso con software educativo y/o recursos electrónicos.
- Integrar las TICs en la docencia puesto que incrementa la calidad del proceso de aprendizaje del alumnado.
- La existencia de un equipo docente de coordinación TIC que asesore al profesorado y dinamice el uso pedagógico de estas tecnologías.

D Propiciar la integración de las competencias básicas en TIC en la estructura curricular donde:

- Exista un programa de actuación que asocie las competencias básicas en las TICs con las asignaturas de los distintos cursos.

E Planificar las tareas o actividades soportadas en TICs en actividades tales como:

- Planificar con tiempo las actividades con apoyo de las TICs, en relación con los objetivos, el desarrollo de la tarea y selección y búsqueda de recursos didácticos.
- Aplicar la misma rigurosidad académica que en las tareas tradicionales o investigación.

F Especificar con claridad el tipo de tareas o actividades a desarrollar y aplicarlas adecuadamente:

- Fomentar el uso del ordenador, tareas y actividades abiertas, individuales y grupales que permitan el intercambio y confrontación de puntos de vista entre el alumnado.

- Motivar al alumnado para que sea protagonista de su proceso de aprendizaje.
- Poner en valor la necesidad de implementar eficientemente los recursos sin forzar su empleo.
- Detectar los puntos débiles del alumnado.

G *Evaluar las tareas o prácticas de aula que realiza el alumnado con apoyo de las TICs, en actividades como:*

- Evaluar los procesos de las tareas o actividades asociadas a los procesos de enseñanza y aprendizaje mediante las TICs, que se originan en los nuevos contextos educativos.
- Dejar evidencias de la secuenciación de contenidos y lo que se está haciendo con las TICs en cada curso.

Así mismo, durante el curso académico 2012-2013, en este contexto, se realizó una encuesta entre el profesorado de la EUITI de Bilbao. De la plantilla formada por 171 profesores/as respondieron 147. A modo de ejemplo, en las Tablas I y II se muestran diversas actividades. En esta encuesta se excluye el empleo de la plataforma docente Moodle. En las Fig. 15 y Fig.16 se representan los porcentajes de las respuestas afirmativas a las cuestiones planteadas.

TABLA I
Actividad relacionada con la adquisición de conocimientos

AK_1	Vinculo los contenidos y objetivos curriculares con las actividades de enseñanza y aprendizaje apoyado en las TIC.
AK_2	Evalúo los procesos de las tareas o actividades de enseñanza y aprendizaje con TIC, que se producen en estos nuevos entornos.
AK_3	Utilizo la red Internet para la formación de los estudiantes.
AK_4	Trabajo los libros de texto su uso con software educativo y/o recursos electrónicos.
AK_5	Fomento con el uso del ordenador, tareas y actividades abiertas que permitan el intercambio y confrontación de puntos de vista entre compañeros

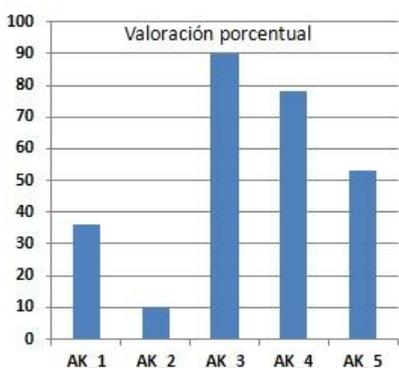


Fig. 15. Representación gráfica de las valoraciones correspondientes a la actividad relacionada con la adquisición de conocimientos.

TABLA II
Actividad relacionada con mis propias actuaciones

PA_1	Comparto con los compañeros/as las experiencias positivas donde utilizo las TIC.
PA_2	Investigo y reflexiono de las prácticas de aula, con el objeto de mejorar las actuaciones con TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje.
PA_3	Considero que los ordenadores y la tecnología de medios audiovisuales deben estar integrados en las aulas.
PA_4	Sustento las actuaciones pedagógicas y el uso de las TIC, en modelos y teorías constructivistas del aprendizaje.
PA_5	Utilizo las TIC por exigencias de diversa índole.
PA_6	Planifico con tiempo las actividades con apoyo TIC, en relación con los objetivos, el desarrollo de la tarea, selección y búsqueda de recursos.
PA_7	Integro las TIC en la docencia porque incrementa la calidad del proceso enseñanza-aprendizaje.

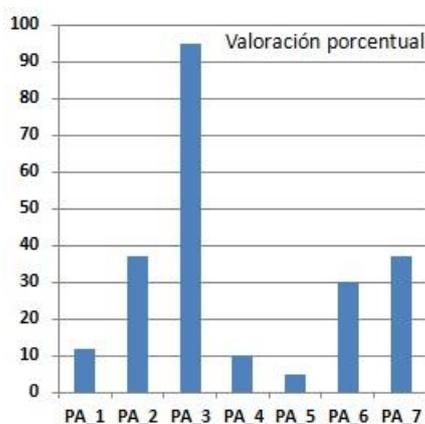


Fig. 16. Representación gráfica de las valoraciones correspondientes a la actividad relacionada con mis propias actuaciones.

VI. CONCLUSIONES

1.- De los resultados de aprendizaje y de la propia evaluación se deduce que este tipo de material educativo es útil y adecuado para el desarrollo de una metodología de enseñanza más flexible, abierta y adaptada a las características individuales del alumnado facilitando un proceso de enseñanza-aprendizaje basado en la actividad y construcción del conocimiento.

2.- La publicación y disponibilidad de estos materiales en Internet posibilita que el alumnado universitario pueda acceder a los materiales de estudio cuando lo desee y desde donde quiera y en consecuencia desarrollar procesos de autoaprendizaje a distancia.

3.- La creación de estos materiales docentes Web permite el desarrollo de proyectos y experiencias docentes innovadoras basadas en la colaboración interuniversitaria apoyadas en el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación.

4.- El proceso de elaboración de los materiales didácticos electrónicos puede ser una estrategia adecuada para motivar y formar al profesorado en el uso pedagógico de las nuevas tecnologías.

5.- Los costes de producción, edición y difusión de este tipo de materiales se reducen considerablemente. Los gastos de publicación electrónica son mínimos comparados con la publicación impresa o audiovisual. De este modo, un docente puede actualizar y renovar sus materiales de forma constante con un ordenador conectado a Internet.

REFERENCIAS

- [1] I. J. Oleagordia, M. Barrón, J. I. San Martín, “Una Experiencia de Aprendizaje Cooperativo Basado en Proyectos. I - Aspectos Metodológicos” Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación, SAAEI’11, Actas del Congreso, pp. 597-602, Badajoz, España, 2011.
- [2] I. J. Oleagordia, M. Barrón, J. I. San Martín, “Una Experiencia de Aprendizaje Cooperativo Basado en Proyectos. II – Prototipo Experimental” Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación, SAAEI’11, Actas del Congreso, pp. 603-608 Badajoz, España, 2011.
- [3] IKD (UPV/EHU). [ONLINE] Disponible en: <http://www.ikasketa-berrikuntza.ehu.es/p272-shikdhm/es/>. [Último acceso 29/04/2015].
- [4] I. F. Aguillo. (2000). Indicadores hacia una evaluación objetiva (cuantitativa) de sedes web. En: Jornadas. Españolas de Documentación (7ª. 2000. Bilbao). La gestión del conocimiento: retos y soluciones de los profesionales de la información [CD-ROM]: (Bilbao, 19-21 de octubre de 2000). Bilbao: Universidad del País Vasco: Fesabid,2000. ISBN 84-7585-919-4; p. 233-248.
- [5] I. J. Oleagordia, M. Barrón, J. I. San Martín, “Plataforma de test y medida basada en PC” Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación, SAAEI’12, Actas del Congreso, pp. 864-869 Guimares, Portugal, 2012..
- [6] J. R. Lajara, J. Pelegrí, “LabVIEW. Entorno Gráfico de programación” Ed. Marcombo, Barcelona, 2011.
- [7] L. Sokoloff “Applications in LabVIEW”. Ed. Prentice Hall, New Jersey 2004.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del Proyecto de Innovación Educativa PIE 2011-2013 investigación DIPE08/20, “*Plataforma Multifunción Basada en Instrumentación Virtual para Test y Medida de Circuitos Eléctricos y Electrónicos*”. Cod. 6383 en la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU.

Iñigo Javier Oleagordia Aguirre (Bilbao, 1954) Licenciado en Ciencias Físicas (1977), especialidad en Electrónica y Automática. Finalizados estos estudios comenzó su carrera



docente en la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) en ingeniería electrónica. Comenzó investigando en aplicaciones informáticas aplicadas a la docencia universitaria, realizando la tesis doctoral *Sistema para el diseño de la simulación, caracterización y control de procesos físicos*. (UPV/EHU, 1996).

Su actividad docente e investigadora se centra en la instrumentación electrónica y la edición de material docente aplicando tecnologías de la información y comunicación (TICs). Los resultados de las investigaciones se han publicado en diversas revistas y congresos nacionales e internacionales. También colabora con diversas empresas en aspectos técnicos y de formación. El profesor Oleagordia consiguió el Segundo premio en el 1º Concurso Iberoamericano CITA 98 celebrado en Madrid. Actualmente es profesor titular de universidad.



Mariano Barrón Ruiz (San Vicente de la Sonsierra, La Rioja 1953). Licenciado en Ciencias Físicas (1975), especialidad en Electrónica y Automática. Actualmente es Profesor Titular en el Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU).

Ha diseñado numerosos equipos destinados a la docencia práctica de los microcontroladores y la electrónica, por los que ha recibido varios premios (“Electronics Lab”. Second Prize in Design2K Contest and Premio al Mejor Equipo Hardware TAEE2000; “Personal Electronics Laboratory” Winning Hardware Track in the 1st European Contest on Microelectronics Education, 2002; “Talking Calculator”, Honorable Mention in AVR 2006 Design Contest). Sus áreas de interés más importantes son: instrumentación virtual, laboratorios remotos, desarrollos electrónicos y uso pedagógico de las nuevas tecnologías.

José Ignacio San Martín Díaz (Baquedano, Navarra, 1958). Obtuvo el Grado de Ingeniero Industrial, especialidad Ingeniería Eléctrica, en la Universidad del País Vasco UPV/EHU, en 2003. En 2009, obtuvo el Grado de Doctor Ingeniero Industrial por la Universidad del País Vasco.



Actualmente es Director de la Escuela de Ingeniería de Eibar y Profesor Titular en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad del País Vasco. Sus líneas de investigación están enfocadas hacia las tecnologías de

Generación Distribuida, Energías Renovables, Micro-redes Eléctricas y Pilas de Combustible.

Página en Blanco

Capítulo 11

Entrando en pista. Despegando hacia la ruta de la innovación docente.

Antoni Perez-Poch
 Dep. Ciencias de la Computación
 UPC – Universitat Politècnica de Catalunya
 Barcelona, España.
 antoni.perez-poch(@)upc.edu

Title -- Entering runway. Taking off to the path of teaching innovation.

Abstract -- When a professor starts a teaching innovation, she or he faces important challenges. Teaching innovation is a risky endeavor indeed, and, as in aviation, high safety standards are required. In order to increase success probabilities, it is required to follow some safety procedures before taking off. In this paper we establish an analogy between an aviation pilot and a teacher carrying out a teacher innovation in the classroom. If procedures are strictly followed, we will safely take off to this wonderful world of teaching innovation, and we will enjoy wider horizons for us and our students. Most importantly, our landing at the end of the course will be then smooth and safe.

Keywords – Teaching innovation, course design, active methodologies, motivation, aviation.

Resumen – ¿A qué retos se enfrenta una profesora o profesor cuando se lanza a realizar una innovación docente en su asignatura? La innovación docente es una actividad de riesgo y precisa que trabajemos, como en aviación, con estándares altos de seguridad. Para incrementar las probabilidades de éxito, es necesario seguir unos procedimientos estrictos antes de iniciar la carrera de despegue. En este artículo establecemos una comparación entre los procedimientos que sigue un piloto de aviación antes de despegar; y los que debería seguir un docente antes de ir al aula y cambiar sus

métodos pedagógicos. Si somos capaces de actuar con un método y seguir los procedimientos, despegaremos con seguridad por esta maravillosa ruta de la innovación docente, disfrutaremos de grandes vistas que ampliarán nuestros horizontes, y los de nuestras alumnas y alumnos... y lo más importante, nuestro aterrizaje a final de curso será suave y seguro.

Palabras clave – Innovación docente, planificación de curso, metodologías activas, motivación, aviación.

I. INTRODUCCIÓN

Desde el principio de los tiempos, hemos oído hablar de una docencia tradicional, con exámenes. Sin embargo, desde hace unas pocas décadas y en particular, gracias a la implantación del *Espacio Europeo de Educación Superior* muchas profesoras y profesores han ido modificando su docencia con métodos de aprendizaje activo.

Esta implantación, en general, no resulta fácil y requiere en primer lugar, el coraje de llevarla a cabo. En segundo lugar, necesita de formación pedagógica y unas buenas dosis de planificación. Finalmente, es necesaria una evaluación del proceso realizado durante el curso para introducir modificaciones de mejora. En bastantes ocasiones, además, el docente que con buena voluntad ha abrazado las metodologías activas en su enseñanza, se ve abrumado por las dificultades. Éste tiene la presión de dedicar su tiempo a otras actividades (investigación, principalmente) que en general, son señaladas por su institución como más

prioritarias. Algunos docentes, cansados de las dificultades y de las controversias que acostumbran a aparecer con los alumnos durante el curso (planificación deficiente del trabajo, conflictos en los trabajos cooperativos, tareas que precisan de competencias que no están en temario de la asignatura...) pierden la ilusión inicial o incluso abandonan.

Miguel Valero en [19, 20], por ejemplo, discute las dificultades de aplicar la técnica de PBL (*Project Based Learning*) y advierte al docente que si no está convencido '*Piénsalo Bien antes de Liarte*'. David López en [13] realiza un análisis de su experiencia diseñando una asignatura sin exámenes, llegando a la conclusión que, efectivamente, la docencia tradicional con un examen final resulta inadecuada desde muchos puntos de vista. Pero eso no significa que el diseño resulte fácil e indoloro. En efecto, como revela Richard M. Felder [4], las metodologías activas nos aproximan más al corazón del proceso de aprendizaje. Esto significa que el profesor vivirá más de cerca las experiencias de aprendizaje de sus estudiantes, lo cual puede ser más enriquecedor, pero también más arriesgado.

También debemos mencionar que los propios currículos y nuevos planes de educación que se están implantando en distintos países hacen énfasis en la calidad docente. Este mandato conlleva muchas veces cambios metodológicos en las asignaturas que los docentes no pueden evitar, como exponen Song H. Guang y colaboradores [9]. Otros autores, como Rose M. Marra y Tim Wheeler [14], inciden en la necesidad de una buena planificación de la docencia para conseguir que la motivación de los alumnos aumente.

En este artículo realizamos una comparación entre los procedimientos de la aviación general y aquellos recursos pedagógicos que recomendamos para iniciarse en la innovación docente. Planteamos una analogía entre un vuelo en avión y un curso académico.

Empezamos por todo lo necesario antes de subir al avión. La planificación de vuelo (curso docente) es importante y mencionamos el modelo de la silla con cuatro patas de Miguel Fidalgo. Seguimos con la lista de chequeo antes de despegar, describimos la necesidad de realizar un plan de vuelo previo al viaje, explicamos diferentes procedimientos a seguir durante el trayecto, y finalizamos con un procedimiento de aterrizaje fiable y seguro. Para acabar, presentamos la necesidad de reflexionar al final de curso sobre la experiencia realizada.

Esperamos que esta lectura pueda resultar de utilidad, y que anime a los docentes indecisos a perder el 'miedo a volar' o mejor dicho, a 'innovar en el aula'.

II. ¿ESTOY PREPARADO?

A. LA DECISIÓN DE INNOVAR

Carlos Camiña y colaboradores en su 'Decálogo de la innovación docente' [2] empiezan su lista de recomendaciones hablando de *convicción*. De todos es conocida la valoración que le dan las universidades españolas a la dedicación de su profesorado a la innovación docente. Pero de lo que se trata es, en el fondo, de ampliar el campo de miras y por tanto, preguntarnos cuál es el sentido de la función docente. Ésta debería ser que el alumno aprenda más y mejor, ni más ni menos. Para arrancar a volar debemos tomar esa decisión.

No hay vuelta atrás una vez se está en el aire, y la decisión de irse al aire requiere decisión. Pilotamos un avión no sólo porque queremos cubrir un trayecto de forma más rápida que con tren o por carretera. Lo hacemos porque amamos nuestra profesión. Salir a volar no es una obligación, es una opción y una filosofía docente.

B. FORMACIÓN Y ENTRENAMIENTO

¿Se atrevería usted a volar con un piloto que no tiene formación? Los parámetros de seguridad de la aviación requieren altos niveles de formación y un mínimo de horas de vuelo para otorgar una licencia de tripulación. Para obtener esta licencia, el piloto deberá haber volado solo un mínimo de horas en ruta para ser autorizado a pilotar un avión. Del mismo modo, no es aconsejable lanzarse al aula a hacer un puzle o cualquier innovación docente sin un mínimo de formación previa. Los Institutos de Ciencias de la Educación de las universidades disponen de programas de formación a medida y de cursos específicos.

Existen además, numerosos tratados clásicos que podemos consultar para conocer las bases de estas metodologías [10, 11, 15]. Una lectura previa a estos manuales nos ahorrará muchos errores y tiempo de dedicación.

Pero no es aconsejable empezar a innovar solo, por supuesto. Los pilotos empiezan a volar en la cabina con un instructor al lado antes de soltarse. La experiencia práctica y los consejos del instructor son insustituibles. El instructor se ha enfrentado antes a situaciones difíciles y guía al alumno piloto en sus primeros intentos de dominar a la máquina de volar. Júntese con alguien que lleve tiempo con los métodos activos de enseñanza. Mejor aún, únase a una comunidad de docentes, como RIMA-UPC [18], y discuta sus inquietudes con ellos. Empiece el curso acompañado, si es posible. Se sentirá menos solo y cometerá menos errores.

Fíjese en el modelo de la silla (Figura 1) que propone Ángel Fidalgo [5]. La innovación docente

descansa sobre cuatro patas: personas, procesos, tecnología y conocimiento. Si falla una pata, la práctica en el aula quedará coja. La pata del conocimiento no sólo se refiere al temario. También interesa conocer la base metodológica de las actividades del aula.



Figura 1: Modelo de la silla para la innovación docente en el aula.

En este modelo se enfatiza además la importancia de la secuencialidad en la construcción de una innovación docente. ¿Por qué pata deberíamos comenzar a construir la silla? Ángel Fidalgo recomienda empezar por la pata del proceso. Estamos inventando pedagogía, y la tecnología debería ser el soporte de todo, así que será la última pata que se adaptará al resto. Seguiríamos con la pata del conocimiento. El conocimiento es aquello que vamos a transmitir mediante el proceso. Y en tercer lugar, las personas, hacia las cuales va dirigido el conocimiento.

Desde tiempos inmemoriales el entrenamiento en cabina avanzada requiere de un módulo de “trabajo en equipo” o *cabin-crew management*. Se trata de establecer una serie de procedimientos para gestionar los recursos humanos en la cabina.

Actualmente acostumbran a volar dos, piloto y co-piloto, con lo que la experiencia se reduce a sincronizar y gestionar jerarquías. ¿Ha tenido la experiencia de dar clase con otro docente en el aula? Es increíblemente complicado coordinarse. El concepto de ‘piloto al mando’ viene aquí al caso. Pueden haber dos o más personas a los mandos, pero sólo uno tiene el mando de la aeronave en un momento dado. Pero empezamos por el principio. ¿Sobre qué patas apoyará el diseño de su innovación en el aula?.

C. BRIEFING Y REVISIÓN PRE-VUELO

El mundo aeronáutico está lleno de vocablos anglosajones que tienen difícil traducción. Uno de ellos es el *briefing* de vuelo. Se denomina *briefing* (Figura 2) a aquella reunión previa al vuelo en la que se determina la ruta y las características de la operación. Nada debe dejarse al azar, porque luego

cambiar algo cuando ya se está en el aire es mucho más complicado. Dicho de forma sencilla, salir a innovar al aula improvisando es como salir a volar sin saber por dónde ir. Si en vez de explicar en la pizarra una clase magistral queremos dedicar tiempo a realizar otras actividades en el aula, deberemos milimetrar bien el tiempo y nuestros recursos, y si es necesario coordinarnos con otros miembros de nuestra tripulación.



Figura 2: El *briefing* antes de ‘salir a innovar’ es imprescindible.

La revisión pre-vuelo, el *briefing*, es algo que cualquier alumno piloto aprende a hacer desde el primer día [7, 8]. ¿Por qué hay que hacerla a conciencia? Porque nos va la vida en ella. Si salimos a volar sin apenas gasolina en el depósito, o unos *flaps* que no se despliegan, luego no podremos remediar el error sin una emergencia. Y las emergencias son sustos que, en buena medida se pueden evitar. Es muy raro que lleguemos a poner nuestra vida y la de los alumnos en peligro en el aula, cierto. Pero quizás podemos aprender algo de lo que hacen los pilotos. Éstos no salen a volar sin haber revisado concienzudamente que todo les va a funcionar perfectamente. ¿Hemos revisado bien la tecnología del aula para que no nos falle en directo? ¿Llevamos todos los documentos que necesitamos? ¿Hemos comprobado que los ordenadores que vamos a usar en laboratorio funcionan y tienen los programas requeridos debidamente instalados? Seguro que usted sabría hacerse con una lista de chequeo a medida antes de salir del despacho para el aula de clase.

La planificación de un vuelo en condiciones de modo visual (VFR) presupone que el piloto tiene visibilidad suficiente para llevar a cabo decisiones sin depender exclusivamente de los instrumentos. Para llevar a cabo esta planificación es necesario disponer de las fichas de aproximación de los aeropuertos de salida y destino. Necesitamos también un mapa aeronáutico de la zona, y de una regla aeronáutica especial (*plotter*) para poder dibujar nuestra ruta aérea sobre el mapa. En la ruta se definirán siempre unos puntos intermedios de paso. Estos puntos definen una altura, a una determinada localización sobre el terreno, sobre

los cuales está previsto que pase nuestra aeronave en un momento determinado (Figura 3). Los puntos intermedios son esenciales para que el piloto pueda comprobar si se está desviando de su ruta (por efecto, por ejemplo, de vientos laterales), si está tardando a más o menos velocidad de la debida (por ejemplo, por efecto de vientos frontales o de cola). Del hecho de que el depósito de gasóleo tiene una capacidad limitada se desprende la importancia que tiene esta planificación. Desviarnos mucho de la ruta puede suponer una grave emergencia en vuelo. ¿Qué puntos intermedios define usted en su curso académico? ¿Ha calibrado la oportunidad de pruebas o entregas parciales?

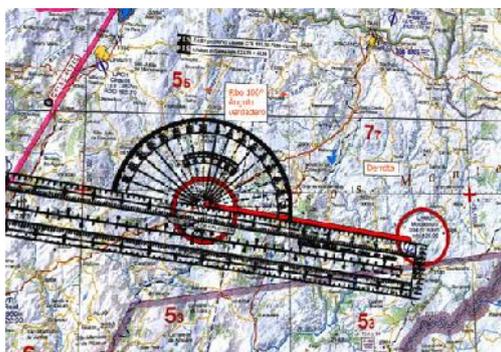


Figura 3. Carta aeronáutica y *plotter* para trazar rutas aéreas.

Aunque la ruta más corta entre dos puntos es siempre la línea recta, es habitual en aviación general que los puntos intermedios se hagan coincidir con referencias de fácil visualización. Ello hace que el piloto se sienta más cómodo si puede ver con rapidez el siguiente punto intermedio, y previene posibles cielos cerrados que dificultan la visibilidad. A veces también es recomendable evitar sobrevolar una montaña, o evitar espacios aéreos restringidos. ¿Comprobará en un control parcial todos los conocimientos posibles, o se centrará en aquellos que den más visibilidad al progreso del alumno? Bien, coja el calendario del curso y prepare su regla para trazar la ruta hacia el destino. ¿Por qué puntos intermedios va a pasar? ¿A qué velocidad de crucero deberá poner su curso en marcha para llegar en punto a cada uno de los puntos?

D. POR LA PISTA DE RODADURA

No se olvide de ‘pedir permiso a torre de control’ antes de ‘salir a rodar’. En un aeropuerto controlado, el piloto no puede salir con su avión como lo haría un conductor para salir del garaje. Hay que, primero, introducir un plan de vuelo, éste deberá ser aprobado por los controladores aéreos, y luego, deberemos solicitar permiso para movernos. ¿Ha mirado la normativa académica de su

Universidad? Quizás quiere poner una actividad obligatoria a realizar en clase. Y quizás quiere asegurarse que un alumno que no venga a clase, o no se tome interés en participar, no pueda aprobar por otras vías. Es una buena idea que impide los escaqueos, pero a veces las normas de la Universidad obligan. Y le pueden traer problemas que hagan que, aunque su idea sea muy buena, las trabas administrativas le compliquen la vida [20]. Asegúrese de que su innovación no va a encontrarse con esas trabas, y que, utilizándola legítimamente, los alumnos no se podrán desviar de la ruta que usted ha planificado. Nunca hay atajos buenos en el aire.

¿Ha arrancado ya el motor? ¿Está autorizado a rodar hasta la cabecera de la pista? Bien, compruebe mientras rueda que los instrumentos funcionan adecuadamente y ¡adelante!

III. ENTRANDO EN PISTA

Antes de entrar en la pista de despegue, el piloto debe detener la aeronave. Sólo con una nueva autorización de los controladores aéreos podrá entrar en ella (Figura 3). Es el momento para asegurarse de nuevo que todos los sistemas están funcionando. Una nueva lista de chequeo, obligatoria, deberá seguirse para evitar cualquier problema en el aire [7, 8]. ¿Qué cosas no debe olvidar de comprobar un profesor antes de iniciar el curso? ¿Qué necesita comprobar?

A. LISTA DE CHEQUEO ANTES DEL DESPEGUE

Fíjese en la lista de chequeo real de la figura 4. En realidad, es una lista múltiple. Existe una lista de chequeo para cada una de las situaciones de vuelo, desde que encontramos la aeronave durmiendo en el hangar, hasta que apagamos el motor en destino. Para simplificar, no iremos tan lejos. Propondremos una sola lista para la revisión que siempre se hace justo antes del despegue, antes de entrar en la pista principal. Cada modelo de aeronave tiene una lista distinta, y en ocasiones se adapta a su contexto de uso. Pero al piloto nunca va a olvidarse la lista a bordo. La lleva impresa, o bien cargada en un dispositivo lector electrónico, y la canta en voz alta, conforme hace cada uno de los ítems, sin saltarse ninguno. Las prisas no son nunca buenas consejeras, y muchos accidentes se han evitado por seguirla estrictamente. La cultura de la seguridad es algo que podemos incorporar fácilmente y de forma progresiva a nuestros hábitos.

Cessna 172D-H Skyhawk	
PREFLIGHT (INSIDE COCKPIT)	
W&B / Performance	Complete
AROW documents	On Board
MASTER	ON
Fuel Gauges / Fuel Valve	Check
Lights / Flaps	Check
MASTER / Ignition / Mags	OFF
EXTERNAL	
Locks / Chains / Chocks	Remove
Fuel Sumps	Drain
Fuel Tanks / Quantity	Inspect
Rivets / Skin / Doors	Check
Flaps / Ailerons / Rudder	Check
Tires / Brakes / Struts	Inspect
Oil	5-7 Qts.
Prop	Inspect
Landing Light / Nav Lights	Inspect
Pilot / Static	Inspect
ENGINE START	
Briefing / Seat Belts	Check
Fuel Selector	Both
Beacon	ON
Circuit Breakers / Fuses	Check
MASTER	ON
Mixture	RICH
Primer	As Needed
Area Clear / START	1000 RPM
Oil Pressure	Check
Avionics / Transponder	ON / STBY
Mixture / Flaps	Adjust
ATIS / AWOS / ASOS	Obtain
Taxi Clearance	Obtain
TAXIING	
Brakes / Instruments	Check
BEFORE TAKEOFF	
Flight Controls	Check
Mixture	Adjust / DA & Elev
Power	1500 RPM
Ignition Switches	LSR (125/75)
Carb Heat	Check ON/OFF
Vac / Ammeter	Check
Power	Reduce
Instruments / Gauges	Set / Check
COM / NAV's	Set
DOOR / Windows	Lock
Flaps / Trim	Set
Lights / TXPDR	Set
Clearance	Obtain
NORMAL TAKEOFF	
Flaps	0°-10°
Vr	52 KIAS (60)
Vy	69 KIAS (80)
Flaps	UP / Pos. Climb
SHORT FIELD TAKEOFF	
Flaps	10°
Runway	To End / Brakes
Vr	52 KIAS (60)
Vx (over 50')	56 KIAS (65)
Vy	69 KIAS (80)
Flaps	UP / Pos. Climb
SOFT FIELD TAKEOFF	
Flaps	10°
Back Pressure	Keep Nose Up
Vx	56 KIAS (65)
Vy	69 KIAS (80)
Flaps	UP / Positive Climb
CLIMB	
Power / Mixture	Adjust
Enroute Climb	70-80 KIAS (80-90)
CRUISE	
Power	2200-2700 RPM
Engine Gauges	Check
Mixture	Adjust / Up to 75%
Instruments	Reset as Needed

Figura 4. Lista de chequeo real de una avioneta.

A continuación le proponemos una lista para iniciar el curso académico. Quizás obtenga alguna idea con ella para iniciar las clases con seguridad. ¿Añadiría algo a esta lista? ¿Cómo la adaptaría a su asignatura?

- 1. Hoja de ruta.** Hemos realizado la planificación del curso. La planificación incluye qué hacer en clase y fuera de clase cada semana. Es flexible, y todos nuestros compañeros de curso la conocen.
- 2. Destino.** Tenemos claro los objetivos del curso. Están escritos y forman parte de la guía docente. Son públicos, consensuados y los llevamos con nosotros. Las actividades se han diseñado en función de estos objetivos.
- 3. Radio sintonizada y en funcionamiento.** Tenemos abiertos canales de comunicación con los alumnos, mis colegas y la dirección. En caso de cualquier duda o fallo evitaremos que las actividades se mueran por falta de diálogo. Además, nos hará falta pedagogía comunicativa porque no a todo el mundo le gustan las actividades participativas en el aula.
- 4. Prueba de motor.** Se prueba que el motor o motores funcionan a plena potencia. ¿Hemos hecho alguna prueba piloto? ¿Hemos sido capaces de probar la actividad antes de empezar el curso? Los tests son útiles. Si el motor no da la plena potencia, se aborta el despegue, sí o sí.

- 5. Sistemas de navegación.** ¿Cómo probaré durante el curso que no me estoy desviando de la ruta programada? No es imprescindible un GPS, pero sí mirar periódicamente a la brújula. La brújula es un instrumento que me sirve para ir comprobando mi ruta durante el curso. Pueden ser evaluaciones parciales, métodos puntuales para entender el avance y/o la opinión de los alumnos o simples comprobaciones que signa la materia. Conocemos nuestros sistemas de navegación, y no nos fiaremos sólo de la visión directa y subjetiva del aula para orientarme, una vez haya empezado el curso.
- 6. Altimetro.** Enrasado, calibrado y funcionando. Los altímetros funcionan a partir de medidas de la presión atmosférica y ésta es variable. Debemos conocer la altura local y la presión local para no tener medidas erróneas. Antes de empezar, preguntémonos: ¿conocemos a nuestros alumnos? ¿Qué nivel inicial tienen? ¿Qué esperan del curso? ¿Qué estilo de aprendizaje presentan? La evaluación inicial más que una recomendación es una necesidad. Evitará que luego no sepamos si estamos subiendo o bajando en la ruta del aprendizaje.
- 7. Alerones y flaps.** Son los sistemas móviles que me permitirán moverme en vuelo. Los flaps son dispositivos hipersustentadores que nos permiten mantenernos en el aire a pesar de volar despacio. Y es que nuestra sustentación depende sobre todo de la velocidad a la que volemos. Las metodologías activas son como los flaps. Me permiten enseñar mejor, e ir más despacio para que aprendan todos más y mejor. ¿Hemos comprobado que sabemos manejar bien las actividades del aula? Sea el aprendizaje cooperativo, el aprendizaje basado en proyectos, la técnica del puzzle, el ePortfolio del estudiante u otras metodologías activas... ¿estamos convencidos de que tenemos el tacto para manejarlas? ¿Ha probado con un instructor como responden a los mandos?
- 8. Puertas cerradas y aseguradas.** Parecerá una tontería por obvia, pero es fundamental. En vuelo no se puede estar cerrando las puertas que han quedado abiertas. Nos hemos asegurado de que nuestro sistema de enseñanza está asegurado contra perturbaciones externas. Estamos convencidos de que funcionará, porque hemos estudiado a fondo, nos hemos formado y la metodología docente que probamos está más que comprobada. Por eso nuestro avión tiene su certificado de aeronavegabilidad, porque alguien, el piloto de pruebas, lo ha probado antes en vuelo.

9. **Meteorología.** Antes de salir a rodar hemos comprobado cómo está la previsión meteorológica. Volvamos a comprobar la ruta. ¿Hemos previsto alguna incidencia durante el curso? ¿Vamos a perder clases por alguna incidencia? ¿Nuestros alumnos tienen claro que no pueden sustituir nuestras actividades por otros atajos para aprobar? Si me encuentro un imprevisto, ¿tengo un plan B para continuar? La ruta aérea estará diseñada para que los alumnos no tengan otro remedio que aprender durante el vuelo. Recuerde, en derecho aeronáutico hay una sola persona a bordo de la aeronave que lleva el mando y la responsabilidad, y ésta es el piloto. Usted.
10. **Nivel de gasolina.** Curiosamente, no hay otra medida más trascendental. Sin gasolina, no hay motor que funcione. Los pilotos se aseguran muy bien que el nivel sea el suficiente, y que la gasolina no está aguada, con un medidor específico. ¿Tiene las energías cargadas para el curso? ¿Su nivel de gasóleo es el requerido y lleva reservas para un imprevisto? Realizar actividades en el aula requerirá más esfuerzo y probablemente más estrés, ya que el contacto directo con los alumnos será mayor que en una clase magistral.
11. **Instrumentos.** El piloto, en vuelo de modo visual (VFR) chequea de forma intermitente los instrumentos de vuelo: el altímetro, el indicador de rumbo, el indicador de actitud del avión, e tc. Se trata, en efecto, de una evaluación continua de los parámetros de vuelo. ¿Quién puede negar que es mejor hacerlo así que no mirar sólo al final si nos estamos desviando de nuestro rumbo? El examen final, como veremos, es el aterrizaje de nuestra aeronave. Pero antes, es muy recomendable evaluar de forma continua si nuestros alumnos se desvían de su destino. Use los instrumentos. Haga evaluaciones parciales y sobre todo, tome medidas a tiempo. Es mejor hacer pequeñas rectificaciones en el curso del viaje, que declarar emergencia porque estamos perdidos al cabo de muchas semanas de curso.
12. **Mezcla del carburador** Si usted piensa en el carburador de un coche, sabrá que mezcla aire con gasolina. En los aviones con carburador, pasa lo mismo, pero como subimos y bajamos en el aire, la densidad del aire no es la misma a lo largo del viaje (Figura 5). Este efecto es suficientemente importante como para que el piloto deba regularlo a lo largo del vuelo. Es necesario que la mezcla de aire y gasóleo se mantenga constante para asegurar un rendimiento apropiado del motor. En consecuencia, al subir el avión el piloto debe empobrecer la

mezcla, es decir, debe aumentar la proporción de gasóleo para compensar el hecho que arriba hay menos aire entrando en el carburador. Al bajar, el efecto es el contrario y hay que enriquecer la mezcla. ¿Y usted, en qué proporción mezcla la explicación de conceptos con la realización de actividades en el aula? ¿Al principio, no deberíamos empezar dando una formación inicial para más tarde dejar volar a los alumnos? ¿Cada cuanto revisa si la mezcla de teoría y actividades es la correcta?

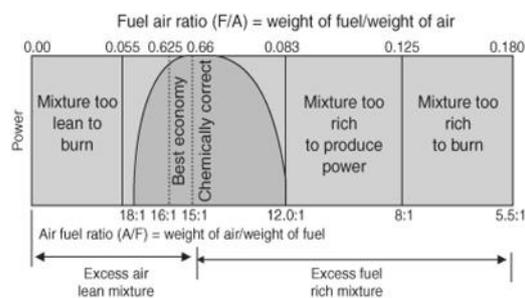


Figura 5: La mezcla gasóleo/aire en el carburador debe ser ajustada en vuelo.

No se asuste por tener que usar una lista de chequeo en el aula. Éste es un procedimiento de seguridad tan simple como eficaz. La lista debe estar escrita, hay que leerla en voz alta y hacer cada comprobación secuencialmente. Si falla cualquier ítem, entonces tiremos para atrás. Los accidentes se evitan con listas como ésta. La lista no es una tarea rutinaria, sino una herramienta básica de seguridad. Adapte su lista a su realidad docente, y sígala, le dará seguridad y confianza en el aula.

B. AUTORIZADOS A DESPEGAR

Si se ha seguido la lista de chequeo y está todo conforme, llega el momento de llamar a la torre de control y avisar que estamos listos. Normalmente el procedimiento implica una espera adicional en caso de que la pista (Figura 6) esté ocupada. Bueno, para el docente este proceso acostumbra a consistir en comprobar el horario, y pedir la llave para el aula.

¡Empieza el curso! Sólo queda dar motor a fondo y levantar el morro cuando se alcance la velocidad requerida. El despegue es fácil, pero para muchos pilotos es la parte más complicada y delicada del vuelo.

Recuerde pues, el inicio del curso es clave. Aproveche las primeras clases para motivar, para explicar la ruta, para que a nadie le entren ganas de desertar. Una vez en vuelo, ya no está permitido bajarse.



Figura 6: Cabecera de pista del Aeropuerto internacional de El Prat (Barcelona).

Existe un dicho en aeronáutica que dice *‘velocidad y altura protegen la dentadura’*. En efecto, un accidente es más peligroso cuando estamos cerca del terreno y a poca velocidad, como es el caso del despegue, ya que el piloto tiene menos margen para corregir y preparar un aterrizaje de emergencia.

IV. EN RUTA HACIA DESTINO

Para Joe Miró [16] la labor de un profesor es *‘un camino de fe, al que sólo la sed le alumbró’*. El significado de su frase se puede interpretar como que el profesor cree firmemente en su vocación, y no cambiaría su profesión por nada. Algo parecido le pasa al piloto, que tiene confianza plena en la tecnología y en sus aptitudes para volver a tierra de forma segura. Esto sólo se consigue a base de formación previa y planificación.

Pongámonos en ruta. Supongamos que se trata de un piloto ‘profesor novel’ con menos de 100 horas de vuelo y que su aparato no dispone del llamado ‘piloto automático’. Si el avión está operado en modo visual (VFR), lo cual significa que los instrumentos son sólo consultivos, estará obligado a mantener la vista en el exterior. *‘Mirar fuera y volar el avión’* es un mantra que repite el instructor de vuelo al alumno piloto en sus primeras horas a los mandos. ¿Por qué? Porque es fácil desviarse de la ruta debido a mil variables distintas: la velocidad y el sentido del viento, la propia deriva del aparato, no meterse dentro de nubes, etc. El piloto habla muy poco y observa mucho. Como escribe Don Finkel [6] en ‘Dar clase con la boca cerrada’, el buen docente también debería hacer algo similar: observar, hablar poco y si acaso hacer intervenciones puntuales. Intervenciones que ‘corrijan la desviación de la ruta’ o la ‘altura programada’. ¿Cómo evoluciona la comunicación del profesor? El docente debería hablar mucho al principio (el equivalente a hacer un *‘briefing’* a la clase), y mucho al final (el equivalente al *‘debriefing’* que se explica en el siguiente apartado). Y entremedio, dejar que los alumnos lleven su propia ruta de aprendizaje, e irlos guiando con pequeños toques de atención.

¿Disfrutamos volando? ¿Y enseñando? Sí, pero sólo en momentos puntuales. Hay mucha rutina para un piloto experimentado, con pocos momentos de felicidad y (ojalá que pocos) momentos de fuerte estrés cuando se sobreviene una emergencia. ¿Y para el docente? Para disfrutar de la profesión, el buen maestro aprecia, en palabras de Joe Miró [16], ‘éxitos ocasionales, que tienen cara y ojos y sonríen en mitad de un mar de dudas’. En efecto, uno de los placeres del piloto consiste en mirar al exterior cuando ya tiene el rumbo dominado y el avión estable. En vuelo a baja altura, como es en el caso de la aviación deportiva, se goza de una vista del terreno que colma los sentidos, y que no se tiene nunca desde tierra. Veremos una nueva perspectiva del territorio (Figura 7) que muchas veces nos sorprenderá.



Figura 7: Perspectiva inédita del Circuito Barcelona-Catalunya de Fórmula 1, vista durante la aproximación al Aeropuerto de Sabadell.

Esta perspectiva es tal que nos muestra además del trayecto (‘temario de la asignatura’) una tercera dimensión en la que aparece el relieve (‘colinas, valles, ríos y mar’). Y con el relieve se manifiestan aspectos que forman parte de la realidad del aprendizaje y que nos dan una visión global del proceso. ¿Está a mitad del curso? ¿Le agobian los horarios y las rutinas del cuatrimestre? Párese un momento y observe a los alumnos mientras trabajan. ¿Qué ha descubierto de nuevo? ¿Hay una colina o un valle escondidos que no sabía que existían? ¿Con qué profundidad conoce cómo están aprendiendo los alumnos?

V. PROCEDIMIENTO DE ATERRIZAJE

El procedimiento de aproximación al aterrizaje se inicia con mucha antelación. Si lo comparamos con un cuatrimestre académico de 15 semanas de clase, podríamos situar el inicio de esta fase en la novena semana. De acuerdo con la ‘Guía para el profesor novel’ publicada por la Asociación de Enseñantes Universitarios de la Informática AENUI [3], por esas fechas, más de la mitad de la nota debería estar decidida. Así que en realidad, el aterrizaje de un avión: donde se decide casi todo, es el momento más arriesgado donde el piloto se

juega su reputación. Lo mismo le pasa al estudiante con un examen final.

De todos es conocido que a un piloto se le juzga por lo 'suave' que es un aterrizaje. Una 'toma dura' se juzga severamente, y no digamos un aterrizaje frustrado (Figura 8). A un estudiante, se le juzga, obviamente, no por lo que sabe, sino por lo que demuestra en los exámenes.

Sin embargo, si la planificación del vuelo ha sido la correcta, y el piloto ha realizado un buen número de 'touch and go' el aterrizaje acaba siendo una rutina donde el placer del viaje ya ha sido adelantado. Un 'touch and go' es un entrenamiento de aterrizaje basado en aterrizar y volver a despegar en una pista de entrenamiento.



Figura 8: En corta final para aterrizar en el Aeropuerto de Sabadell.

Así que si su asignatura está diseñada para que los alumnos no puedan escapar del aula sin haber aprendido, poco debemos preocuparnos por el examen final, el aterrizaje por excelencia del mundo académico. De hecho, al final del curso los alumnos ya sabrán si están para aprobar o no. El resto será buscar atajos, y los atajos, como todos sabemos, no existen en el aire. O se aterriza con seguridad, o no hay copias que valgan.

Hay innumerables evidencias de que el uso de metodologías activas en el aula mejora el rendimiento académico y la satisfacción de los estudiantes por la docencia recibida [17]. Sin embargo, ser capaz de realizar un vuelo con seguridad solo y aterrizar con suavidad requiere paciencia, horas de entrenamiento y mucha motivación para conseguirlo. Algunos autores como Paul Kirschner y Jeroen J.G. van Merriënboër [12] argumentan además que con poner el centro del proceso de aprendizaje en el estudiante no es suficiente. El docente debe dar una formación previa sobre el tema, y poner las condiciones para que el aprendizaje efectivo realmente se produzca.

¿Ha terminado ya el curso? Es la hora del *debriefing*. Éste es el nombre anglosajón con que se conoce la reunión post-vuelo que realiza la tripulación una vez el viaje ha finalizado. Evaluemos el vuelo, miremos qué decisiones hemos tomado antes y durante el trayecto. ¿Nos hemos equivocado en algo? ¿Cuáles son las lecciones que hemos aprendido? ¿Podemos

realimentar el diseño del nuevo curso con nuestra experiencia? Quizás es la hora de aprovechar los meses de verano para asistir a algún curso o taller de formación docente. O mejor aún, asistir a alguna jornada de innovación docente o congreso educativo donde podamos intercambiar nuestras experiencias, como JENUI [21].

VI. CONCLUSIONES

Nuestra experiencia cotidiana con la aviación comercial tiene casi todo lo desagradable que tiene volar: retrasos, controles de seguridad, colas para embarcar, restricciones de equipaje, espacio limitado... Además, muchas veces no podemos apreciar el paisaje desde altura porque el avión vuela rutas por encima de nubes que dificultan ver el terreno. Nuestro rol como pasajeros del aire es totalmente pasivo, lo cual acentúa además el 'miedo a volar'.

En cambio, con la aviación deportiva pasamos a ocupar un rol protagonista y activo. No tenemos ni colas ni apenas controles de seguridad, y, después de un período de entrenamiento todos los miedos desaparecen. El resultado es una experiencia de vuelo totalmente nueva, en la que tenemos un conocimiento y experiencia mucho más cercana de la aeronave y del trayecto aéreo. Además, gozamos de vistas del paisaje a baja altura realmente preciosas, que nos dan una perspectiva de nuestro territorio y quizás más allá.

El curso puede ser también muy rutinario, y lleno de experiencias poco motivadoras que nos puede desanimar y convertir nuestra profesión diaria incluso en desagradable. Decidirse a innovar consiste en transformar nuestra experiencia en algo parecido a la aviación deportiva. Requiere decisión, trabajo, y en la universidad quizás no valoren sus horas de vuelo en una avioneta. Pero si se asume el riesgo, las ventajas son muchas, tanto para el docente como para los alumnos.

¿Cómo ha ido su curso con innovaciones docentes en el aula? (Figura 9). ¿Ha sido satisfactoria la experiencia? ¿Ha experimentado alguna de las analogías que hemos descrito con la aviación alguna vez en el aula? A pesar de las dificultades, ¿volvería usted a volar?



Figura 9: Reflexionar conjuntamente sobre la docencia abre nuevos horizontes.

Si este artículo le ha servido para reflexionar y tener quizás una o dos ideas más para mejorar su experiencia en el día a día de su quehacer docente nos daremos más que por satisfechos. Y por favor, háganos llegar sus comentarios y sugerencias a la dirección de correo de la cabecera. ¡Buenos vuelos!

REFERENCIAS

- [1] C.Barrado, R.Cuadrado, L.Delgado, F.Mellibovsky, E.Pastor, M.Pérez, X.Prats, J. I. Rojas, P.Royo y M.Valero García, 'Una experiencia PBL para unificar asignaturas (y las quejas que originó).' En *Actas de las XIX Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática*, JENUI 2013, pp. 175-182, Castelló de la Plana, 2013. Consultado el 1-5-2014 en: http://bioinfo.uib.es/~joemiro/aenui/procJenui/Jen2013/p22.bar_unae.pdf
- [2] C.Camiña, E.Ballester, C.Coll y E. García, 'Mitos y realidades de la innovación educativa' En *Actas del XI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas*, CUIEET, Vilanova i la Geltrú, 2003. Consultado el 28-1-2014 en: <http://www.epsevg.upc.edu/xic/ponencias/R0252.pdf>
- [3] A.Cernuda, F.Llorens, J.Miró, R.Satorre y M. Valero García, 'Guía para el profesor novel.' AENUI. Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2006. Consultado el 3-2-2014 en: <http://bioinfo.uib.es/~joemiro/aenui/novel/novel.pdf>
- [4] R.M. Felder 'Reaching the second tier. Learning and teaching styles in college science education.' *Journal of College Science Teaching*, 23(5):286-290, 1993.
- [5] A.Fidalgo, *Innovación educativa*. Blog en línea. Consultado el 28-1-2014 en: <http://innovacioneducativa.wordpress.com/2010/10/17/el-simil-de-la-silla-para-entender-que-es-la-innovacion-educativa-y-como-aplicarla/>
- [6] D.Finkel, 'Dar clase con la boca cerrada'. Publicaciones de la Universidad de Valencia, 2008.
- [7] B.Gardner, 'The complete advanced pilot: a combined commercial and instrument course'. Fifth edition. Aviation supplies & academics, 2013.
- [8] R.J. Gómez, 'El vuelo. Manual de formación para pilotos'. Tecnibook ediciones, 2013.
- [9] S.H. Guang, G. X. Dan y Q. Zaowen, 'The Computer Network Curriculum Teaching Innovation and Practice.' En *Proceedings of the Second International Workshop on Education Technology and Computer Science*, vol. 2, pp. 739-741. Wuhan, 2010.
- [10] A.Jafari y C.Kaufman (eds.), 'Handbook of research on ePortfolios.' Idea Group Ref., Hershey, PA (USA), 2006.
- [11] D.W. Johnson (coord.), 'Cooperative learning in the classroom.' Association for supervision and curriculum development. Alexandria, VA (USA), 1994.
- [12] P.Kirschner y J.G. van Merriënboër, 'Do learners really know best? Urban legends in education.' *Educational psychologist*, 48(3), pp. 169-183, 2013.
- [13] D.López, 'La experiencia de diseñar una asignatura sin exámenes.' En *Actas de las XIX Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática*, JENUI, 2013, pp. 103-110, Castelló de la Plana, 2013. Consultado el 1-5-2014 en: http://bioinfo.uib.es/~joemiro/aenui/procJenui/Jen2013/p13.lopez_laex.pdf
- [14] R.M.Marra y T.Wheeler, 'The impact of an authentic, self-centered, engineering project on student motivation.' En *Proceedings of the Frontiers in Education Conference*, FIE 2000, vol. 2, pp. F2C8 - F2C13, Kansas, 2000.
- [15] C.Meyers y T.B.Jones, 'Promoting active learning. Strategies for the college classroom', Jossey-Bass ed., San Francisco, CA (USA), 1993.
- [16] J.Miró, 'Sólo la sed nos alumbra'. *ReVisión* 4(2), pp.10-18, 2011. Consultado el 28-1-2014 en: <http://aenui.net/ReVision/>
- [17] A.Perez-Poch, F.Sánchez, N.Salán y D.López, 'Análisis multifactorial de la aplicación de metodologías activas en la calidad docente.' En: *Actas de las XVIII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática*, JENUI 2012, Ciudad Real, pp. 67-74. Consultado el 3-2-2014 en: <http://hdl.handle.net/2117/16302>
- [18] RIMA-UPC, Innovación e Investigación en Recursos de Aprendizaje. Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTech. Comunidad de prácticas de innovación docente. Consultado el 1-5-2014 en: https://www.upc.edu/rima/?set_language=es
- [19] M.Valero-García y J.García Jubía, 'Cómo empezar fácil con PBL.' En *Actas de las XVII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática*, JENUI 2011, pp. 109-116, Sevilla, 2011.
- [20] M.Valero-García, 'PBL (Piénsalo Bien antes de Liarte)'. *ReVisión* 5(2), pp. 11-16, 2012. Consultado el 28-1-2014 en: <http://aenui.net/ReVision>
- [21] Jornadas Nacionales de Enseñanza Universitaria de la Informática JENUI. Consultado el 12-1-2015 en: <http://jenui2015.uols.org/>

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la escuela de pilotos del Aeroclub Barcelona-Sabadell las enseñanzas recibidas. De la misma manera debe reconocerse a los compañeros de docencia de la EUETIB y al Instituto de Ciencias de la Educación de la UPC por los conocimientos y motivación transmitidos. La comunicación ha sido posible gracias a una ayuda económica de la EUETIB.

Crédito de figuras: (1) M. Fidalgo, (2) Austrian Airlines, (4) Surecheck Ltd., (7 y 8) Aeroclub Barcelona-Sabadell, y (9) GIAC-UPC.

Esta comunicación fue presentada en formato abreviado a JENUI 2014 (Oviedo, España), Jornadas Nacionales de Enseñanza Universitaria de la Informática.



Antoni Pérez-Poch. Profesor e investigador en el departamento de Ciencias de la Computación de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) en Barcelona, España. Es Físico e Ingeniero Superior en Electrónica por la Universidad de Barcelona. Posee también la titulación de Ingeniero en Informática por la UOC. (Universidad Abierta de Cataluña). Recibió su título de piloto

privado de aviación (PPL-A) en 2004 y posee un diploma de postgrado SSP por la Universidad Internacional del Espacio (ISU, Nasa Ames, 2009). Sus áreas de interés son la investigación educativa, la investigación de procesos en microgravedad y el procesado digital de imágenes médicas.

Página en Blanco



*Financiado a través de la acción complementaria
TIN2009-07333-E/TSI*



IEEE

**Capítulos Español y Português
de la Sociedade de Educação**



**Consello Social
Universidade de Vigo**