

Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores

**Revista de Experiencias
Docentes en Ingeniería de
Computadores**

Número 8, Octubre 2018



Edita: Departamento de
Arquitectura y Tecnología de
Computadores



Universidad de Granada

ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE INGENIERÍA DE COMPUTADORES
Revista de Experiencias Docentes en Ingeniería de Computadores

TEACHING AND LEARNING COMPUTER ENGINEERING
Journal of Educational Experiences on Computer Engineering

Número 8, Año 2018

Comité Editorial:

Miembros de la Comisión Docente del Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada:

Mancia Anguita López	Alberto Guillén Perales
José Luis Bernier Villamor	Luis Javier Herrera Maldonado
Pedro A. Castillo Valdivieso	Gonzalo Olivares Ruiz
Miguel Damas Hermoso	Julio Ortega Lopera
Javier Diaz Alonso	Begoña del Pino Prieto
Antonio Díaz García	Beatriz Prieto Campos
F. Javier Fernández Baldomero	Alberto Prieto Espinosa
Francisco Gómez Mula	Manuel Rodríguez Álvarez
Jesús González Peñalver	Fernando Rojas Ruiz

Colaboradores externos de otras Universidades:

Sergio A. Cuenca Asensi (Universidad de Alicante)
Domingo Benítez Díaz (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria)
Guillermo Botella Juan (Universidad Complutense de Madrid)
José Carlos Cabaleiro Domínguez (Universidad de Santiago de Compostela)
Jesús Carretero Pérez (Universidad Carlos III)
Francisco Charte Ojeda (Universidad de Jaén)
Anton Civit Balcells (Universidad de Sevilla)
Ramón Doallo Biempica (Universidad de A Coruña)
José Manuel García Carrasco (Universidad de Murcia)
Consolación Gil Montoya (Universidad de Almería)
José Ignacio Hidalgo Pérez (Universidad Complutense de Madrid)
Juan Antonio Holgado Terriza (Dept. LSI, Universidad de Granada)
Pedro López (Universidad Politécnica de Valencia)
Diego R. Llanos Ferraris (Universidad de Valladolid)
Joaquín Olivares Bueno (Universidad de Córdoba)
Francisco J. Quiles Flor (Universidad de Castilla-La Mancha)
Enrique S. Quintana Ortí (Universidad Jaime I)
Dolores I. Rexachs del Rosario (Universidad Autónoma de Barcelona)
Antonio Jesús Rivera Rivas (Universidad de Jaén)
Goïuria Sagardui Mendieta (Universidad de Mondragón)
Manuel Ujaldón Martínez (Universidad de Málaga)
Miguel Ángel Vega Rodríguez (Universidad de Extremadura)
Víctor Viñals Yúfera (Universidad de Zaragoza)

ISSN: 2173-8688 **Depósito Legal:** GR-899/2011

Edita: Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores

Imprime: Copicentro Editorial

© Se pueden copiar, distribuir y comunicar públicamente contenidos de esta publicación bajo las condiciones siguientes (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/>):

Reconocimiento – Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).

No comercial – No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Sin obras derivadas – No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Printed in Spain

Impresa en España

Índice

Editorial	1
Analyzing gender disparities in STEAM: A Case Study from Bioinformatics Workshops in the University of Granada <i>E. Ruiz, C. del Val, R. Alcalá, A. Fernández, C. Cano, W. Fajardo, J. Alcalá</i>	5
Learning Programming by applied activities: an example with topics of Operating Systems <i>E. Gibaja, M. Luque, A. Zafra</i>	17
Tres experiencias docentes con una plataforma en la nube <i>M.D. Ruiz, F. Torralbo</i>	27
Propuesta metodológica para motivar a los estudiantes en el estudio de las Redes de Computadores <i>A. Zafra, E. Gibaja, M. Luque, L. Toribio</i>	37
Individualizando la Tutoría del Alumno de Ingeniería <i>A.J. Tomeu, A.G. Salguero</i>	49
Nuevas arquitecturas hardware de procesamiento de alto rendimiento para aprendizaje profundo <i>A.J. Rivera, F. Charte, M. Espinilla, M.D. Pérez-Godoy</i>	67
Clúster de Computación Científica de Bajo Coste y Consumo <i>M. Hernández, A.A. Del Barrio, G. Botella</i>	85
Modelling and Controlling the Kinetic and Dynamic of a Bicycle <i>C. Tapken, P.Gloesekoetter, G. Olivares, A. Olivares</i>	97
Uso y difusión de la plataforma educativa SWAD / OpenSWAD en la Universidad de Granada y en el mundo <i>A. Cañas, E.M. Ortigosa, J. Fernández, J.M. Boyero, M. Anguita, F.A. Ocaña, M. Gea, A.M. Fernández, J. García, M. Damas, J. Ortega, A. Prieto</i>	117

<p>Funcionalidad, implementación y líneas de desarrollo de la plataforma educativa SWAD / OpenSWAD <i>A. Cañas, J.M. Boyero, D.J. Calandria, E.M. Ortigosa, J. Fernández, A.F. Díaz, S. Romero, J. Mesa, A. Lara</i></p>	145
<p>Plataforma de entrenamiento para detectar FakeNews en los Recursos Educativos como Internet <i>D. Rojas, P. Fernández, M. Rodríguez, A. Guillén</i></p>	185
<p>DESDE EL PUPITRE (Experiencias de estudiantes)</p>	
<p>Diseño y construcción de un guante de datos para el reconocimiento gestual de lenguajes gestuales complejos <i>J.A. Jiménez, J.A. Holgado</i></p>	197
<p>Instrucciones para autores</p>	213

Editorial

Abrimos este octavo número de la revista Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores correspondiente al año 2018, con una breve presentación de los once trabajos que lo integran. Estos once trabajos han sido elaborados por profesores/investigadores de las Universidades de Granada (cinco artículos), Córdoba (dos artículos), Cádiz (dos artículos), Jaén (un artículo), y Complutense de Madrid (un artículo). Además uno de esos artículos se ha realizado con la participación de miembros de la Universidad de Münster en Alemania y personal de la empresa Nazaries IT.

Cuatro de esos artículos son versiones ampliadas y revisadas de comunicaciones presentadas en las III Jornadas Andaluzas de Informática (www.uco.es/jai/) que se celebraron en Septiembre de 2017 en Canillas de Aceituno (Málaga), organizadas por profesores e investigadores de la Universidades de Córdoba y Málaga, y a los que agradecemos su colaboración en el proceso de selección y revisión de los artículos correspondientes. De estos cuatro trabajos, en *Analyzing gender disparities in STEAM: A Case Study from Bioinformatics Workshops in the University of Granada* de Elena Ruiz, Coral del Val, Rafael Alcalá, Alberto Fernández, Carlos Cano, Waldo Fajardo, y Jesús Alcalá (Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial de la Universidad de Granada) se analizan las razones que han motivado la organización del congreso anual "Educational Workshop on Bioinformatics" y se analizan aspectos relativos a la participación registrada en las ediciones que se han celebrado, entre otras, desde una perspectiva de género. En los siguientes tres artículos se recogen distintas propuestas docentes para mejorar los resultados de aprendizaje de los estudiantes. Así, en *Learning Programming by applied activities: an example with topics of Operating Systems*, de Eva Gibaja, María Luque, y Amelia Zafra (Departamento de Computación y Análisis Numérico de la Universidad de Córdoba) se proponen actividades prácticas para mejorar la motivación de los estudiantes en contenidos relacionados con los Sistemas Operativos; en *Tres experiencias docentes con una plataforma en la nube* de M. Dolores Ruiz y Francisco Torralbo (Universidad de Cádiz) se analizan cuestiones derivadas del uso de plataformas en la nube como equipamiento práctico junto con su utilización en varias experiencias docentes presenciales y no presenciales; y en *Propuesta metodológica para motivar a los estudiantes en el estudio de las Redes de Computadores* de A. Zafra, E. Gibaja, M. Luque (Universidad de Córdoba) y L. Toribio (Máster en Seguridad) se describe la implementación de juegos clásicos con múltiples participantes para mejorar la motivación de los estudiantes en asignaturas de redes dentro de la Ingeniería de Computadores.

Las horas de tutorías constituyen parte significativa de la actividad docente que se recoge explícitamente en los planes de ordenación docente. Con cierta frecuencia, esta importancia no se refleja en el uso que hacen de ellas los estudiantes o en la planificación de actividades docentes específicas por parte del profesor. En *Individualizando la Tutoría del Alumno de Ingeniería*, de Antonio J. Tomeu Hardasmal y Alberto G. Salguero Hidalgo (Universidad de Cádiz), se reflexiona sobre la problemática de las tutorías en el ámbito de los estudios de ingeniería y se describe una experiencia de innovación docente para la individualización de las mismas.

El interés en la implementación eficiente de algoritmos de aprendizaje automático, y en particular las perspectivas que plantea el uso de redes neuronales de aprendizaje profundo en aplicaciones de inteligencia artificial está promoviendo el desarrollo de nuevas arquitecturas de cómputo para la ejecución eficiente de estos algoritmos y, sin duda, pronto tendrán que tenerse en cuenta en la configuración de los contenidos de muchas de las asignaturas de ingeniería de computadores. En *Nuevas arquitecturas hardware de procesamiento de alto rendimiento para aprendizaje profundo*, de Antonio J. Rivera, Francisco Charte, Macarena Espinilla, y María D. Pérez-Godoy (Departamento de Informática de la Universidad de Jaén) se pone de manifiesto esta tendencia introduciendo, entre otros conceptos relacionados con esta aproximación, las TPU (Tensor Processing Units).

Otro aspecto en el que cada vez debe hacerse más hincapié en la docencia de las arquitecturas de computador es el del consumo energético, tanto por las implicaciones en la conservación del medio ambiente, como por constituir una de las barreras en el desarrollo de computadores cada vez más potentes basados en la interconexión de nodos. Así, en *Clúster de Computación Científica de Bajo Coste y Consumo*, de Mariano Hernández, Alberto A. Del Barrio, y Guillermo Botella (Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática, de la Universidad Complutense de Madrid) se describe un clúster basado en FPGAs de gama baja pero capaz de ejecutar programas intensivos en datos con prestaciones competitivas como las que ofrecen clusters basados en arquitecturas superescalares con mayor consumo energético y coste.

La creciente implantación de plataformas y aplicaciones relacionadas con el paradigma de Internet de las Cosas (IoT) motiva un interés creciente en el desarrollo de experiencias docentes que ilustren el uso de dispositivos de control en aplicaciones prácticas reales. En *Modelling and Controlling the Kinetic and Dynamic of a Bicycle* de C. Tapken, P. Gloeskoetter (Universidad de Münster, Alemania), G. Olivares (Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada), y A. Olivares (Nazaries IT Granada), se propone una práctica para las asignaturas de sistemas de control que consiste en el modelado, y control a partir de dicho modelo, de una mini-bicicleta autónoma. El modelo mecánico se construye inicialmente a partir de un diseño CAD y posteriormente se integra en Simulink, conjuntamente con los módulos de control, que se verifican en una mini-bicicleta física.

Los artículos *Uso y difusión de la plataforma educativa SWAD/OpenSWAD en la Universidad de Granada y en el mundo* y *Funcionalidad, implementación y líneas de desarrollo de la plataforma educativa SWAD/OpenSWAD*, de Antonio Cañas, et al, se centran en la plataforma de b-learning y gestión académica SWAD. Por un lado, en el primero de ellos se resume el uso y la difusión que ha tenido esta plataforma desde su inicio en 1999 hasta la actualidad, y en el segundo se describen las funcionalidades

actuales de la plataforma y detalles de su implementación, y propone la incorporación de una serie de técnicas e implementaciones encaminadas a mejorar la motivación y el rendimiento académico de los estudiantes y de facilitar al profesorado las tareas de evaluación. Ambos artículos reflejan muy bien la dimensión e importancia a nivel incluso internacional que ha adquirido esta plataforma de gestión del aprendizaje a través de la red, liderada por el profesor Antonio Cañas del Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada.

Otra herramienta para entornos educativos, en este caso para frenar la propagación y minimizar el impacto de las noticias falsas que aparecen en la red, se presenta en el artículo *Plataforma de entrenamiento para detectar FakeNews en los Recursos Educativos como Internet* de David Rojas (Universidad Camilo José Cela), Pedro Fernández y Alberto Guillén (Universidad de Granada), y Mauricio Rodríguez (Universidad de Almería).

Por último, también en este número tenemos un artículo dentro de la sección “Desde el pupitre”, que iniciamos en el número de 2014 con artículos elaborados por estudiantes (con o sin participación de profesores). En esta ocasión, se incluye en esta sección el trabajo *Diseño y construcción de un guante de datos para el reconocimiento gestual de lenguajes gestuales complejos*, de José Antonio Jiménez-Montanés y el profesor Juan Antonio Holgado Terriza, de la Universidad de Granada, donde se propone el diseño y construcción de un prototipo para interacción gestual usando componentes de bajo coste en el contexto de un Trabajo Fin de Grado.

De la misma forma que en los siete números anteriores, algunos de los artículos de este octavo número de la revista abordan contenidos que se han discutido en las Jornadas de Coordinación Docente y Empresas, JCDE (<http://atcongresos.ugr.es/jcde/>), organizadas por el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores desde el año 2010, y cuya octava edición se celebró en Diciembre de 2017. Como en anteriores ocasiones, nos gustaría manifestar nuestro agradecimiento a todos los que han contribuido a la celebración de esas VIII JDCE, al Comité Editorial de la revista por su inestimable ayuda en la difusión de la revista y en la revisión de los artículos, y por su puesto a los autores de los artículos presentados sin cuyo esfuerzo y confianza no habría podido elaborarse este número.

El Comité Editorial

Analyzing gender disparities in STEAM: A Case Study from Bioinformatics Workshops in the University of Granada*

Elena Ruiz¹, Coral del Val¹, Rafael Alcalá¹, Alberto Fernández¹, Carlos Cano¹, Waldo Fajardo¹, and Jesús Alcalá Fdez¹

Department of Computer Science and Artificial Intelligence, University of Granada, E-18071, Granada, Spain

Abstract. Bioinformatics is an interdisciplinary area that has raised a high interest for both academia and corporations in recent years. This rising area combines knowledge and skills from Bio and Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics (STEM) areas. One of the advantages of the synergy between these two work areas is that it offers an opportunity for closing the traditional STEM’s gender gap. Despite this opportunity and the significance and wide application of bioinformatics field, this topic has still not gained enough visibility in the graduate programs for the Bio Bachelor Degrees at the University of Granada. This has motivated the organization of an annual “Educational Workshop on Bioinformatics” at the University of Granada by the Department of Computer Science and Artificial Intelligence. Results of the analysis of the first two editions of this workshop show a great interest on the topic by the university community at all levels (e.g. undergraduate and graduate students, teachers and researchers) without significant distinction among genders at global level. When analyzing student group, women did show a higher interest on the subject. However, this interest was not reflected in the higher university strata (teachers and researchers), which represents a glimpse of the spanish general current situation on the area.

Keywords: Bioinformatics · STEM · gender gap

1 Introduction

The Europe 2020 strategy [6, 7] set one of its targets in increasing participation in tertiary education with special emphasis in gender equality in Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) skills. Unfortunately, despite more than two decades of initiatives, the under-representation of women in STEM careers is still a gap to close. The last published EU-28 statistics [10] show

* This work has been supported in part by the FIDO-UGR 2016-2018 plan under grant 16-12 and the Spanish Ministry Economy and Competitiveness under grant TIN2017-89517-P. E. Ruiz holds a grant from the Spanish Ministry Economy and Competitiveness (project TIN2014-57251-P).

that thought the number of women reached the 54.3% of all tertiary students, and 53.5% for Masters degrees, these numbers are extremely low in the field of STEMs careers were three quarters of the students are male [11]. Thus, there are still many initiatives working, at different levels and with different scopes, for gender balance in science, technology, engineering and mathematics [5, 14, 27, 13, 26, 8]. In the intersection between STEM and Bio and Health Degrees is where there is a higher growth of new careers, employment possibilities and higher salaries.

Bioinformatics is an interdisciplinary area that fits in this intersection, being STEM skills crucial in order to expand the use of biological, medical, behavioral or health data including their acquisition, storage, organization, archive, analysis, or visualization of such data [1, 24]. Bioinformatics is a relatively young field that brings together areas such as Biology, Biochemistry, Biotechnology, Medicine, Pharmacy mostly dominated by female students with areas such as Computer Science, Mathematics, Data Science, Physics; mostly dominated by male students [10]. It is interesting to notice that at the beginning of bioinformatics, when it was not called so, there were a large proportion of women involved. Among them one of the first true founders of Bioinformatics, the chemist Margaret Dayhoff [17]. However, recent works [3, 4] shows gender disparity in bioinformatics research publications authorships. This underrepresentation of women in high-quality research publications and conferences is also present in other scientific areas, even on those where women constitute over 50% of graduates and hold a great amount of faculty and research positions [2, 21, 12, 18]. Bioinformatics is reaching its peak [15, 19] bringing in the market a great number of job opportunities for scientists with computer science expertise and bio-knowledge [22], but the number of women accessing to them is still low. Unfortunately, there is a shortage of appropriate bioinformatics courses for undergraduate biostudents. In the European Community most of the courses are at Master level [20], which due to their specialization are not suitable for undergraduate students.

In accordance with these facts, the Dpt. of Computer Sciences teaching panel in the Bachelor Degrees of Biology, Biochemistry and Biotechnology at the University of Granada (UGR) (Spain) considered the necessity of developing an annual Educational Workshop on Bioinformatics. Even though it was originally intended for Bio Bachelor Degrees, we wanted to organize an open event. This way the workshop was publicized as an open free activity for all the Bachelor and Master students related to the Bio, Bio-Health and STEM areas. The main aim was to stress the importance and application of STEM skills knowledge for their future, and give visibility to careers and professional profiles in the field for individuals with their backgrounds. The initiative was focused on the knowledge transfer from experts in the field and potential employers. The final objective was to make clear the importance and applicability of the informatics to undergraduate students, and how this knowledge can influence their job opportunities. Students were provided with information for decision on the

building of their extra-curricular itinerary and they were encouraged to carry out research activities and company practices in this direction.

However, since these Bio majors present a higher enrollment of females (60% at the UGR) opposite to the STEM ones, we were also very interested to know if there was a gender imbalance in bioinformatics' interest at the tertiary educational level, as it seems to be universal across all aspects of the scientific itinerary. This work analyzes the opinions of the attendants to understand the current situation of bioinformatics teaching area and the interest of the different university collectives from a gender perspective. We evaluate both attendance data and evaluation tests results. From this analysis we can conclude there is a high interest by undergraduate and post-graduate students, interest shared by both females and males without significant differences. Nevertheless, the scenario was just the opposite when focusing on the higher university professionals (teachers and researchers), which represents a glimpse of the spanish general current situation on the area.

The remainder of this work is organized as follows. In Sec. 2 we present the material and methods used to set up the workshop. Then, Sec. 3 presents the analysis of results related to attendance, participants' background and knowledge acquisition from a gender perspective. A thorough discussion on the lessons learned throughout this work is carried out in Sec. 4. Finally, Sec. 5 summarizes and concludes the work.

2 Material and Methods

In this section we address several aspects related to the organization of the workshop as its program (Sec. 2.1), the structure of the quality and satisfaction survey designed by the organizers to assess the impact of the workshop (Sec. 2.2), and the test designed to assess the knowledge acquired by the participants during the workshop (Sec. 2.3).

2.1 Workshop Program

For the two first editions, the structure has been broadly the same. The workshop was two days long and consisted of plenary talks and a concluding round-table where all participants were given the opportunity to contribute and send their doubts to the speakers and organizers. The inscription was online and completely free. The schedule consisted of 5 consecutive hours each of the two days with a half-hour break. The first half-hour of the first day was devoted to the opening, followed by four plenary talks. The second day consisted of three additional plenary talks. All plenary talks comprised an hour of duration. Finally, during the last hour and a half of the workshop, a round-table was held. Among the speakers' profiles we could find members from both industry and academia. Their academic training included both computer science and biology, but also other degrees such as engineering, physics and medicine. While in the 1st edition the content of the lectures was mainly focused on genomics and epigenomics,

and the application of bioinformatics to personalized medicine; for the second edition the covered topics were extended to include, among other, bioinformatics applications in ecology or lectures about the usefulness of bioinformatics to get a job in the software industry.

2.2 Quality and Satisfaction Evaluation

Once the workshop was finished, all participants received an e-mail with a link to a satisfaction survey which fit in with Likert approach [16]. For the second edition the satisfaction survey was updated to include new questions that allow us to get a more accurate idea about participants' opinions. Additionally, the participants were asked to which universities collective they belonged, namely: undergraduate students, graduate students, professors, researchers, or others.

2.3 Participants' Evaluation

In both editions the workshop was recognized for the Biology Degree students with one ECTS credit under the condition of realizing a test to evaluate the knowledge acquired. In the second edition, Biotechnology Degree students were offered the same option. The test was formed, in both cases, by 10 questions directly related to the content of the plenary talks, each of the questions with four different options.

3 Results and Analysis

This section presents the analysis of the results of the two first editions of the workshop (2017 and 2018) including the analysis of the audience (Sec. 3.1 and 3.2) and of the results for the knowledge evaluation survey (Sec. 3.3).

3.1 Workshop Attendance

As mentioned in Sec. 2, the registration for the event took place online. Due to the fact that students could get a participation certificate, attendance to the sessions both days was controlled to keep record of the true audience. The analysis from the online registrations (371 for the first edition - 477 for the second one) showed that there were no significant differences in the percentages of males (47.7% - 48.6%) and females (52.3% - 51.4%) registered in the workshop. These numbers remains almost the same when looking to the attendance data: females (52% - 50%) and males (48.1% - 50%). It is worth mentioning, that because registration was free many people register themselves just in case they could attend. In 2017 a total of 234 people participate both days what makes a 63% of the registered people distributed equally between females (32.6%) and males (30.2%). In 2018 the total number of people participating both days rose to 274, i.e. a 57.5% of the registrations distributed once more equally between females (29.37%) and males (28.94%). This means a 17% increase in attendance

for the second edition of the workshop. Despite this increase in the number of attendants, the number of people who attended both days supposes a lower percentage of the total amount of registrations than in the first edition. The registration period was longer for the second edition than for the first one, then it makes sense that the number of people who registered themselves just in case they could attend but finally couldn't, were higher for this second edition. Moreover, during the first edition the 82.69% of the attendants to the session of the first day attended again the second one. For the second edition the datum is very similar, 83.03% of the attendants to the session of the first day attended again the second one.

The great interest of this topic among the UGR community has been evidenced by two facts: the great number of inscriptions and the high level of real attendance both days. In fact, it is very impressive the significant percentage of attendants to the first day that decided to participate the second independently of their gender. Furthermore, the increases in both inscriptions and attendants for the second edition lay bare that this interest is not going down. Most of the attendants were students who have to deal with very full class schedules and heavy workloads, having in many cases both morning and afternoon classes.

3.2 Participants' Background Diversity

Noteworthy, although the workshop was originally designed for undergraduate students in Biological Sciences Degrees, the interest arisen among other university collectives exceeded our expectations. When analyzing attendance data of the first workshop by group, students of all levels were clearly the major group of attendants (76%) with a slightly higher attendance of female students (56.83%) when compared to male students (43.17%). Performing the same analysis of the data from the second workshop we find that students remain being the main group of attendants (83.93%) equally distributed between females (49.29%) and males (50.71%). The remaining minority group of attendants was integrated by PDI (researchers and professors), and others (known gender, unknown role). In the PDI collective, which is an indicator of the current employment situation of women in leading roles at the University, we saw that this parity disappeared and turned into a significant imbalance of females (33.33% in the first workshop - 28.57% in the second workshop) against males (66.67% - 71.43%). Although these numbers can not be taken as representative due to the fact that the workshop was oriented to the students and not to the faculty (as shown in Fig. 1).

Moreover, when looking in detail into the distribution of students by type (see Fig. 2), we found around 67% of the participants to be undergraduate students and about 33% postgraduate students. These results show a much higher diversity of participants than expected, and corroborate the interest of the subject even in more highly-qualified participants, which constitute an important part of the total attendance.

To get a better picture of the interest in bioinformatics in the different educational stages by gender we looked at the gender distribution by degrees'

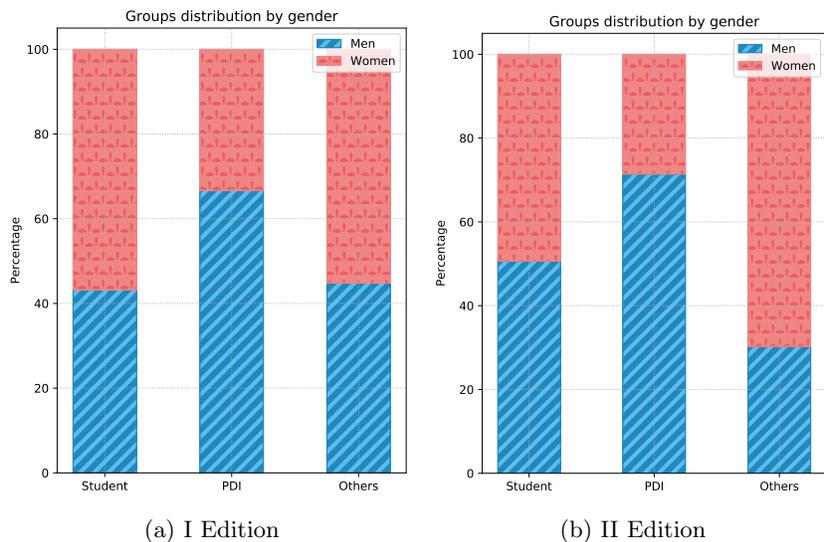


Fig. 1: Distribution of each group of participants (student, PDI, others) by gender

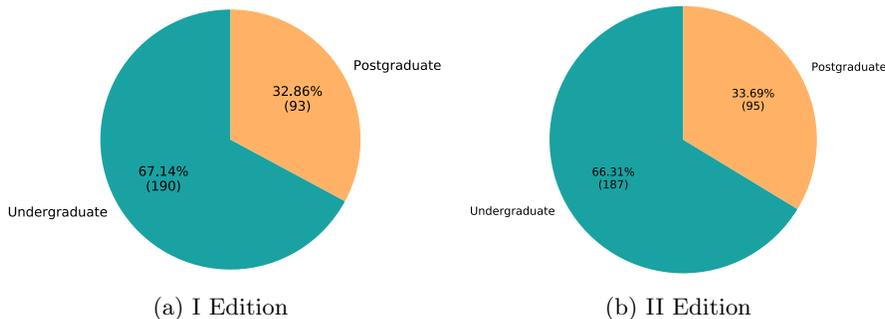


Fig. 2: Ratio of undergraduate and postgraduate participants that forms the student group

and postgraduate courses' knowledge areas. Figure 3 shows this type of distribution among participants who are coursing both undergraduate and postgraduate studies.

We observe that at the undergraduate level the majority of the students belong to Bio Degrees, representing more than 80% for both editions of the workshop, followed by STEM Degrees (between 9 and 14%) and Bio-Health Degrees (less than 5%). In the case of Bio Degrees we found that the attendance is almost equally distributed between genders but with a slight advantage of females (around 53%). This percentage difference might be only a reflex of the percent-

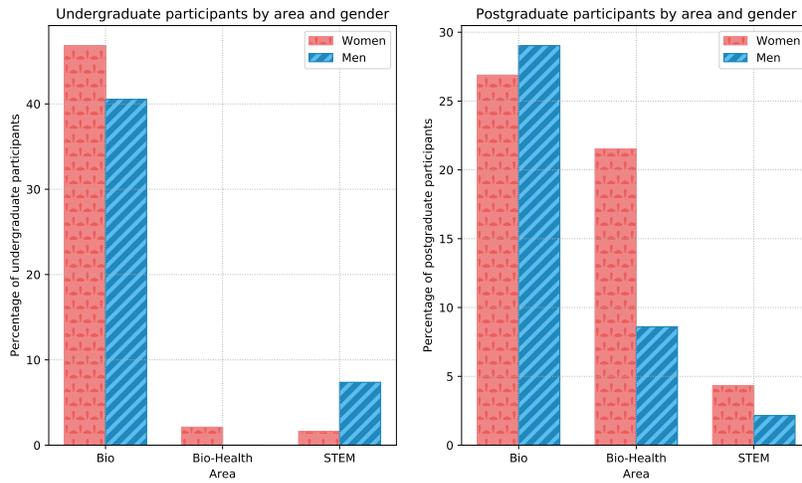
age of enrollments in these degrees, which round 55-60% females versus 45-40% males. This female advantage significantly increase when looking at Bio-Health Degrees students, specially in the first edition where the few undergraduate that attended were all females. In any case, since the number of Bio-Health undergraduate attendants are very reduced this results may be not so significant. Just the opposite is the case of undergraduate STEM Degrees where the percentage of female attendants (20% or less) is significantly lower than the percentage of males (80% minimum). Thought the numbers of STEM undergraduate students are also quite reduced it is pretty interesting that we do observed the typical gender imbalance expected from the enrollment imbalance in STEM Degrees at the University of Granada. The female enrollment in engineering degrees at the UGR is under 20%, being the minimum a 9.63% in the case of Computer Science [25]. The greater numbers of undergraduate students in the Bio Degrees in comparison to Bio-Health Degrees and STEM Degrees can be explained through the focus of the workshop more than on the interest aroused. This Workshop was mainly advertised in the Biology, Biochemistry and Biotechnology Degrees.

Figure 3 also contains analogous information for postgraduate participants. In the first edition the post-graduates background diversity was noticeably greater than in undergraduate students. While postgraduate students from Biosciences Masters were the majority (56%), we found a significant student participation increase compared to undergraduates from Bio-Health Masters such as Medicine (17%) and STEM Masters such as Computer Science (7%). This tendency is significant for the female sector in Medicine (20.2% vs. 8%) and STEM (4% vs. 3%) postgraduate degrees. Although not so clearly, this upward trend can also be appreciated in second edition data in both Bio-Health (4.81% of undergraduates and 11.58% of postgraduates) and STEM (13.3% of undergraduates and 15.8% of postgraduates). In the female sector Bio-Health goes from representing 6.74% of total female undergraduates to 17% of total female postgraduates. Results point that students from areas initially distant to biology consider bioinformatics as a meaningful field in their academic formation when their level of qualification increases.

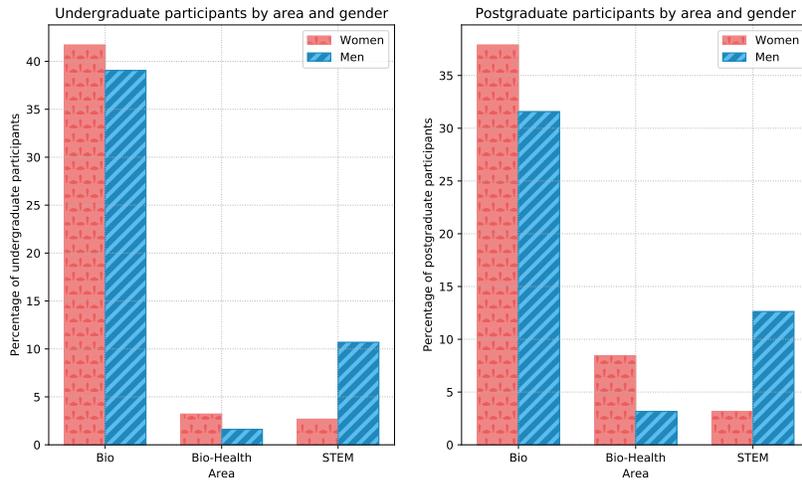
These results encourage us to continue organizing activities to promote and integrate this discipline into the academic training of more and more students, opening their minds to new horizons both academic and labor. Helping to break the traditional gender stereotypes associated with the different disciplines that integrate bioinformatics, specially showing to Bio and Bio-Health Degrees female students the advantages of acquiring STEM skills but also showing to STEM students the interesting possibility of applying their knowledge to the Bio and Bio-Health fields.

3.3 Assessment of knowledge acquisition

As we have mentioned before, a test exam to assess the knowledge acquisition during the workshop had to be realized by the students to obtain the recognition of one ECTS credit. As it has been also mentioned, during the first workshop only Biology Degree students had the opportunity to get this ECTS credit but



(a) I Edition



(b) II Edition

Fig. 3: Distribution of students who attended to the workshop by knowledge area of their degrees and gender

for the second workshop Biotechnology Degree students were also offered this option. A total of 64 undergraduate students realized the test the first year, 35 females and 29 males. This number rose to 91 undergraduate students the second year, 43 females and 48 males. The results show the same median for males and females both years. But while in the first case the range is more concentrated in the highest scores for females (8-10 over 10 possible points) and males scores present a higher dispersion (6-10); this situation is reversed in the

second case where females scores present a higher dispersion (6-10) and males results are more concentrated in the highest results (9-10), as shown in Fig. 4. As we can see, both women and men show an equal average interest in the subject, obtaining both of them quite high mean scores.

4 Discussion

In this work we analyzed the impact of the first two editions of the annual Educational Workshop on Bioinformatics at the UGR on the attendants with special emphasis from the gender viewpoint. A large number of participants were involved, and the attendance even increased in the second edition. The collaboration shown in the satisfaction survey, more than 80% from the total, implied a great interest on the topic of Bioinformatics within the UGR community at all university levels. This great support had no significant distinction among genders at global level.

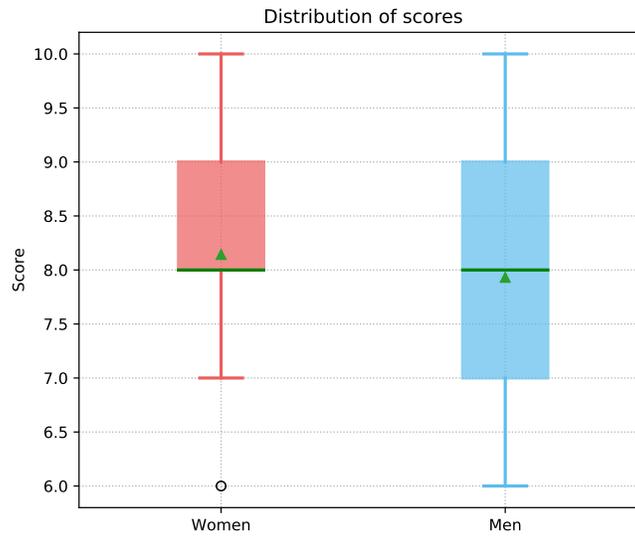
When analyzing the participation of undergraduate students, we observed almost equal interest of both females and males in Bioinformatics in the “Bio-” degrees. Furthermore, the evaluation results suggested that men and women are equally fitted to learn about the subject. In the case of postgraduate degrees, data showed an increase in the amount of females in Bio-Health Degrees and, in a lesser ratio in STEM Degrees, who were interested in the topic.

To the light of our data we may conclude that women are initially more attracted by Bio related Degrees than by Computer Science. A “turning point” appears during the latter courses and subjects. It is only when they learn about new Next Generation Techniques (NGT) and their impact in Biology, Biochemistry, Biotechnology and personalized medicine [23], when their interest in developing STEM skills grows significantly. This way, we may find a greater percentage of postgraduate female students getting information and formation in the area of Bioinformatics.

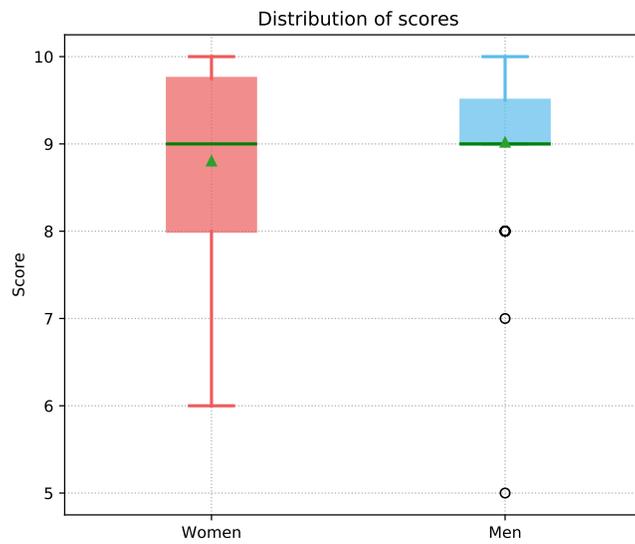
We find that women show in early university stages the same interest and fitness capacity as males in STEM skills applied to their study field. An analysis of the gender data from our Bioinformatics workshop shows much greater gender equity than in STEM degrees and closer to Biology degrees where the number of female enrollments reaches the 60%. Understanding which factors influence this behavior could provide useful insight when designing interventions to help narrow the gender gap in STEM degrees [9].

5 Conclusion

In this paper, we have reviewed the information on gender equality from the first and second editions of the Educational Workshop of Bioinformatics at the UGR. To do so, we have first described the organization and structure of the workshop, in order to understand the conditions under study. Specifically, we have defined the workshop program, the quality and satisfaction evaluation and the participants’ evaluation.



(a) I Edition



(b) II Edition

Fig. 4: Distributions of the scores obtained in the knowledge acquisition test by gender. On the left (red) distribution among female participants and on the right (blue) among male ones. Green line represents median and a triangle the mean

Our analysis were divided into three different aspects, namely the workshop attendance, the participants' background diversity, and the assessment of

knowledge acquisition. In this sense, we have contrasted the results between both editions showing a significant improvement in the general results for the latter one.

Finally, we have posed a discussion on the gender disparities within the STEM areas, in particular from the viewpoint of Bio- degrees and Computer Science. From the data collected from our two workshops, we have concluded that the topic of Bioinformatics implies a very interesting synergy between both areas, narrowing the “gender gap” in general STEM. In accordance with the former, our future efforts in academia must be oriented towards the development of additional informative sessions for students. This may allow them to acknowledge the significance of acquiring relevant skills such as NGT, scripting tools, and novel programming languages, among others.

References

1. Arabnia, H.R., Tran, Q.N.: Emerging Trends in Computational Biology, Bioinformatics, and Systems Biology: Algorithms and Software Tools. Morgan Kaufmann (2015)
2. Bendels, M., Mller, R., Brueggmann, D., Groneberg, D.: Gender disparities in high-quality research revealed by nature index journals. PLoS ONE **13**(1), 1–21 (2018). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189136>
3. Bonham, K.S., Stefan, M.I.: Gender disparity in computational biology research publications. bioRxiv (2017). <https://doi.org/10.1101/070631>, <http://biorxiv.org/content/early/2017/04/13/070631>
4. Bonham, K., Stefan, M.: Women are underrepresented in computational biology: An analysis of the scholarly literature in biology, computer science and computational biology. PLoS Computational Biology **13**(10), 1–12 (2017). <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005134>
5. Can, Y.W.: Yes, women can! au féminin pluriel, <https://yeswomencan.ca/>
6. Commission, E.: Europe 2020, http://ec.europa.eu/europe2020/index_en.htm
7. Commission, E.: Gender equality as a crosscutting issue in horizon 2020, https://ec.europa.eu/research/swafs/pdf/pub_gender_equality/interim_evaluation_gender_long_final.pdf
8. Commission, E.: Guidance to facilitate the implementation of targets to promote gender equality in research and innovation, https://ec.europa.eu/research/swafs/pdf/pub_gender_equality/KI-07-17-199-EN-N.pdf
9. Commission, E.: She figures 2015, https://ec.europa.eu/research/swafs/pdf/pub_gender_equality/she_figures_2015-final.pdf
10. Eurostat: Gender statistics at regional level, http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Gender_statistics_at_regional_level
11. Eurostat: Tertiary education statistics, http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Tertiary_education_statistics
12. Ford, H., Brick, C., Blaufuss, K., Dekens, P.: Gender inequity in speaking opportunities at the american geophysical union fall meeting. Nature Communications **9**(1), 1–6 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03809-5>
13. University of Granada, University of Jaén, P.d.O.U.: Seré ingeniera, <http://sereingeniera.ugr.es/>
14. Hypatia: Hypatia project, <http://www.expecteverything.eu/hypatia/>

15. Kang, J., Park, S., Venkat, A., Gopinath, A.: Quantitative analysis of the trends exhibited by the three interdisciplinary biological sciences: biophysics, bioinformatics, and systems biology. *Journal of microbiology & biology education* **16**(2), 198 (2015)
16. Likert, R.: A technique for the measurement of attitudes. *Archives of psychology* (1932)
17. Masic, I.: The most influential scientists in the development of medical informatics (13): Margaret belle dayhoff. *Acta Informatica Medica* **24**(4), 299 (2016)
18. Nittrouer, C.L., Hebl, M.R., Ashburn-Nardo, L., Trump-Steele, R.C., Lane, D.M., Valian, V.: Gender disparities in colloquium speakers at top universities. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **115**(1), 104–108 (2018)
19. Ouzounis, C.A.: Rise and demise of bioinformatics? promise and progress. *PLoS Comput Biol* **8**(4), e1002487 (2012)
20. Pevzner, P., Shamir, R.: Computing has changed biologybiology education must catch up. *Science* **325**(5940), 541–542 (2009)
21. Sasor, S., Cook, J., Duquette, S., Loewenstein, S., Gallagher, S., Tholpady, S., Chu, M., Koniaris, L.: Scholarly activity in academic plastic surgery: the gender difference. *Journal of Surgical Research* **229**, 332–336 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.04.031>
22. Scilico, L.: Bioinformatics job, <http://www.bioinformatics.org/jobs/>
23. Serrati, S., De Summa, S., Pilato, B., Petriella, D., Lacalamita, R., Tommasi, S., Pinto, R.: Next-generation sequencing: advances and applications in cancer diagnosis. *OncoTargets and therapy* **9**, 7355 (2016)
24. for Stony Brook, T.C.: Stony brook university libraries, <http://guides.library.stonybrook.edu/bioinformatics>
25. UGR: University of granada degrees enrollment, http://transparente.ugr.es/pages/estudiantes#_doku_matriculas
26. University, P.F.: Wisibilízalas, <https://www.upf.edu/web/wisibilizalas>
27. WISE: Wise campaign, <https://www.wisecampaign.org.uk/>

Learning Programming by applied activities: an example with topics of Operating Systems

Eva Gibaja¹[0000-0002-0184-8789], María Luque¹[0000-0001-7735-8340], and
Amelia Zafra¹[0000-0003-3868-6143]

University of Córdoba, Department of Computing and Numerical Analysis
{egibaja, mluque, azafra}@uco.es

Resumen When a teacher is preparing a collection of exercises, a connection between the subject and the context of the degree would be desirable. Nevertheless, finding practical examples of the topics of the subject with application to other subjects is occasionally difficult. This work presents a practical proposal for simultaneously practicing concepts of computer programming and operating systems which faces the students to a real problem. In this way the students are more motivated increasing their success probabilities. Among the topics of operating systems, process scheduling has been chosen for practice is computer programming. In general terms, a scheduler manages which process will be executed in a certain moment. Some of the strategies used to perform this management employ FIFO or LIFO structures, which are typical contents of computer programming. Thereby, the development and implementation of a scheduler would allow students applying and reinforcing these concepts. The proposal may be interesting for teachers of Programming, Data Structures and Operating Systems in a Computer Science degree.

Keywords: educational resource · operating systems · programming · scheduler · files · stack · queue.

1. Introduction

When a student has to solve a problem or exercise, it is more engaging if it is related with the scope of the study program as the student sees a practical application of what it is being studied. Nevertheless, frequently occurs that finding practical and simple applied examples is not easy, even more if the subject is part of the block of foundations which are taught in the first course.

This is common in programming subjects in the degree in *Computer Engineering*, in which finding enough simple examples to practice the contents in a real problem is hard. Applying the tools and knowledge provided in programming subjects to implement concepts related to computing could be a solution. In our case, we have focused in the field of operating systems. This way, our objective is two-fold. On the one side, we intend to motivate students while on the other hand we intend to increase coordination among different subjects and courses.

Tables 1 and 2 show, respectively, a summary of the competences and topics of the subjects *Programming Methodology* (PM) and *Operating Systems* (OS) in the degree in Computer Engineering of the University of Córdoba. Particularly, in PM the C language is introduced. This language has a broad historical development with application in operating systems, compilers, software development and it is specifically oriented to the implementation of operating systems (e.g. UNIX, Windows or GPU/Linux). Besides, according to the CEB4 competence, PM should provide students with basic knowledges in operating systems.

The relationship between these two subjects is clear, and due to this reason we consider that a practical programming project in the context of operating systems is a good proposal. not only to practice programming applied to a real problem [1] [2] [3], but also to introduce some concepts related to OS [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12].

Table 1. Course Programming Methodology.

COMPETENCES
CB4: Being able to communicate information, ideas, problems and solutions to both specialized and not specialized public
CU2: Knowing and improving the user level in the context of ICTs
CEB4: Basic knowledge about programming and using computers, operating systems, databases and software related with engineering
CEB5: Knowledge about the structure, organization, operation and interconnection of computing systems. Foundations of programming and its application to solve engineering problems
TOPICS
Pointers
Text and binary files
Structure of a executing program
Dynamic memory
Recursivity
Dynamic linear data structures: lists, stacks and queues
Basic sorting and searching algorithms and their complexity
Methodological issues of programming: documentation and tests
Programming tools: automatic generation of projects, documentation, libraries, debuggers

2. Proposal: Programming a mini-scheduler

The subject OS covers topics such as threads, processes, scheduling or distributed systems (Table 2) which offer the opportunity to be used as object of a programming project. In this case, the processes scheduling has been used as conducting thread as it is an easy to understand concept without needing

Table 2. Course Operating Systems.

COMPETENCES
CEC10: Knowledge about features, functionalities and structure of operating systems and how to design and implement applications based on their services
CEC11: Knowledge and application of features, functionalities, structure and how to design and implement application based on distributed systems, networks and Internet
CEC14: Knowledge and application of foundations and basic techniques of parallel computing, concurrent, distributed and real time programming
TOPICS
Introduction to operating systems, organization, structure and operation
Processes and threads, representation, states and life cycle
Communication among processes and threads, mutual exclusion, application of synchronization to classic problems
Scheduling algorithms and their influence on the performance of the system, advantages and disadvantages
Introduction to distributed systems, common problems and basic communication paradigms
Basic concepts of input/output, memory, storing
Introduction to types of free software licenses and their relationship with GNU/Linux

a previous or deep knowledge about OS. Besides, it allows us to cover a great portion of topics in PM (Table 3).

Table 3. Topics covered by the project.

	Dynamic memory	Files	Queues	Stacks	Reference parameters	Makefiles	Arguments to main	Libraries
Processes	√	√				√	√	√
Scheduling	√		√	√	√	√	√	√

2.1. The scheduler

The scheduler is one of the main components of any modern multi-task operating system. Its main aim is assigning the CPU time to the different executing processes according to any scheduling strategy, for example (Figure 1):

- *First Come First Served* (FCFS). If a job has arrived first it is first served.
- *Shortest Job First* (SJF). The shortest job is attended first.
- *Priority-based Scheduling*. Each process is assigned a priority and the process with highest priority is executed first.

- *Round Robin* (RR). Each process is provided a fix time to execute (i.e. *quantum*). Once a job is executed for the given period, it is preempted and other process executes for a given time period.

Multi-task operating systems are characterized by being capable of developing many tasks at the same time. This feature, which is essential for users, is actually a kind of illusion produced by the scheduler as microprocessor is able to run just one single process simultaneously. Therefore, in machines with a single processor, when several processes need to be run, the scheduler distributes the CPU time assigning to processes very small-time intervals in which the process is run. As these intervals are very small (at the order of milliseconds), the user has the feeling that processes are running at the same time.

The scheduler has also another essential task for operating systems: optimizing the use of available resources (i.e. memory, hard drives, keyboard, printer and other devices). When a process requires using a certain resource, it is temporarily blocked until the resource is assigned to the process. For example, when a program is requiring the user input data, several seconds, even minutes, may pass until the user reads the requirement, thinks and types the answer and the keyboard transmits it to the program. As in all this elapsed time the program does not really need the computation time assigned, the scheduler will remove it from CPU until the execution can continue.

2.2. How the mini-scheduler works

Let's suppose a set of processes to be scheduled whose description (*name*, *CPU cycles needed to finish*, *priority*¹) is stored into a text file. The scheduler, in each cycle, performs the following steps (Figure 2):

1. If the end of the processes file has not been reached, read the following process, P_i .
2. If CPU is busy, check priority of the process in CPU, P_{cpu} .
 - If P_{cpu} has more priority than P_i , then put P_i into the queue of processes, Q , according to its priority.
 - If P_i has more priority than P_{cpu} , then remove P_{cpu} from CPU and assign computing time to the new process P_i . When the scheduler removes a process from CPU, it does not return back to the queue of processes, but it is put into another data structure with all processes removed from CPU which has a special priority. Particularly, all these processes are introduced into a stack, S .
3. If CPU is empty, put P_i into the queue of processes Q . Then remove the first element in the stack S , or of the queue just in case S is empty and put the process in CPU.
4. When this point is reached, a CPU cycle has finished. In order to represent this fact, the number of cycles needed to finish the process at CPU is decreased 1 cycle.

¹ This priority could be established according to different criteria: the priority of the process or the number of CPU cycles remaining to end the execution.

Process	Arrival Time	Priority	CPU Cycles
P1	0	2	2
P2	1	3	2
P3	2	0	1

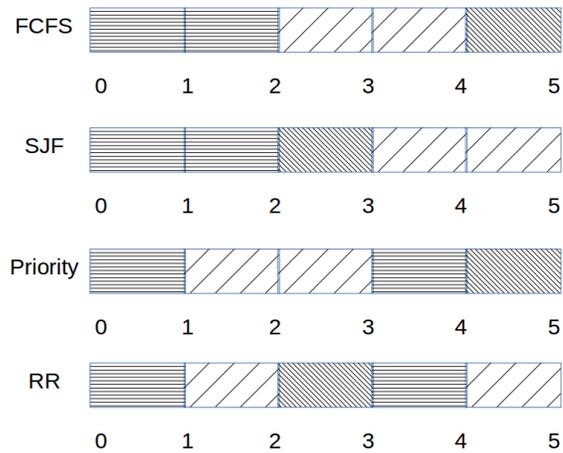


Figure 1. Scheduling examples.

5. If the number of CPU cycles needed to finish the process reaches zero, the process has finished and CPU is empty again.

The steps defined above are repeated until Q and P are empty and all the lines in the file of processes have been read.

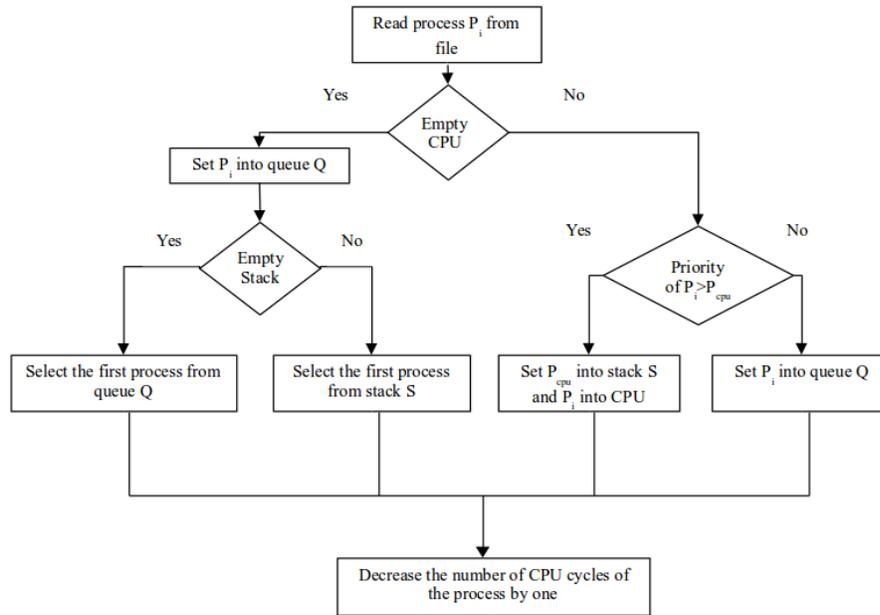


Figure 2. Scheme of the mini-scheduler.

2.3. Description of the project

In this project, the mini-scheduler described in the previous section must be programmed by using the functions the student considers appropriate².

The processes to be scheduled will be read from a text file. This file will have one line per process. Each of these lines will consist of three integers separated

² It is obvious that a real scheduler is an extremely complex element with high influence in the efficiency of the operating system. In this project, a very schematic version will be developed that will be a vehicle to practice programming skills.

by a blank. The first one represents the identifier of the process, the second one the number of CPU cycles need by the process to finish, and the last one is the priority of the process. An example is available in Table 4. For instance, if the line *3 1 0* is read, the identifier of the process is 3, it needs 1 CPU cycle to finish and has priority 0.

Table 4. Example of an input file.

1	2	2
2	2	3
3	1	0

The output of the program will be written in a text file summarizing the processes using CPU each cycle (Table 5). In each line will be printed:

- CPU cycle. An integer beginning in 1.
- Identifier of the process beginning with a *P* character.
- If the process is assigned to the CPU for the first time, this fact will be represented by >> and if the process finishes its execution it will be represented by <<.
- The number of cycles to finish.
- Finally, the priority.

Table 5. Example of an output file.

1	P1	>>	2	2
2	P2	>>	2	3
3	P2	<<	1	3
4	P1	<<	1	2
5	P3	>><<	1	0

The program will be executed by typing:

schedule <processesFile><outputFile><p|c>

where:

- *processesFile* is the name of the file with processes.
- *outputFile* is the name of the file with the output of the scheduler.
- *p|c* determines the order in the queue: priority (*p*) or number of cycles to finish (*c*).

Arguments to main will be used and the number and type of the arguments will be checked. In case of any error, the program will finish showing the user an error message with the right call.

To develop the mini-scheduler, a *struct process* with the following fields will be used (Figure 3):

- *pid*, an integer representing the identifier of the process. Each process will have a unique *pid*.
- *cic*, an integer representing the number of CPU cycles remaining to finish the process.
- *pri*, an integer representing the priority of the running process.

```

struct process{
    int pid;
    int cic;
    int pri;
}

```

pid
cic
pri

Figure 3. struct process.

By using this *struct process* the following data structure will be build (Figures 4 and 5):

- A structure to emulate the CPU that will contain an element of type *struct process*.
- A stack, *S*, with processes removed from CPU. The stack will implement, at least, the functions *push*, *pop* and *isEmpty*.
- A queue, *Q*, of processes. This queue works as a queue in which elements are sorted according to one of the following criteria:

```

struct process CPU;

```

3
1
0

Figure 4. Emulated CPU

- *Number of CPU cycles remaining to finish.* Those processes with less cycles remaining to be completed will be selected first.
- *Priority of the process.* Processes with the highest priority will be selected first. For instance, a process with priority 10 will be served before a process with priority 3.

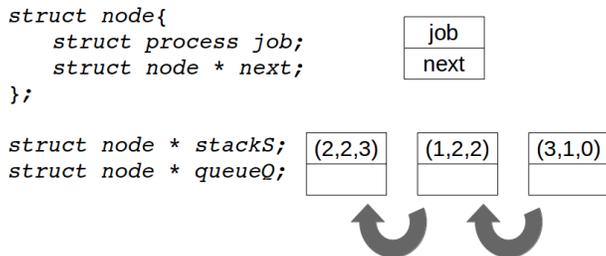


Figure 5. Emulated stack and queue

The queue will implement, at least, the functions *isEmpty*, *delete* and *insert* according to one of the criteria described above for which pointer to functions will be used. The insert function will have the following header: *void insert(struct cola ** head, int (* sort)(struct process a, struct process b), struct process p)*.

The project will be organized into the following files: *queue.c*, *queue.h* (functions and *struct* needed to implement the queue), *stack.c* y *stack.h* (functions and *struct* needed to implement the stack), *files.c*, *files.h* y *main.c*. Preprocessor directives will be used to avoid including duplicated header files.

A *makefile* will be used to build the executable file. This file must have, at least:

- Independent rules for each *.o*
- A rule to generate a library *linkedStructs.a* with the functions for the stack and the queue.
- A rule to generate the executable from *linkedStructs.a* and *main.o*.
- A rule to clean the intermediate files.
- A target to generate the executable and clean targets.
- A *phony* target.

Conclusions

This work has described an educational resource to practice topics of a programming course contextualized in the field of operating systems in a degree in Computer Sciences at the University of Córdoba. Due to the foundational character of both subjects in the study program, this proposal can also be useful as a resource for other teachers in similar subjects in other degrees and universities. The main contributions of the proposal are highlighted below:

- The fact that the student has to design and implement the mini-scheduler lead to learning by means of the development of projects. This will lead to a better comprehension of the concepts being applied and to establish relationships among them.
- The implementation of the mini-scheduler allows practicing topics of the subject PM in a real problem in the field of computing. This is motivating and engaging for all the related subjects.
- With this proposal that develops a mini-scheduler, the competence CEB4 of PM, whose aim is providing the student with foundational knowledge in operating systems, is covered.

Referencias

1. L. Joyanes, I. Zahonero. Programación en C. Metodología, algoritmos y estructuras de datos. McGraw-Hill, 2005.
2. L. Joyanes, A. Castillo, L. Sánchez, I. Zahonero. Programación en C: libro de problemas. McGraw-Hill, 2003.
3. Kernigham, N. B., Ritchie, M. D. El lenguaje de programación C. Prentice-Hall, 1989
4. W. Stallings. Sistemas operativos, 5 edición. Prentice Hall, Madrid, 2005.
5. A. S. Tanenbaum. Sistemas operativos modernos. 3 edición, Prentice Hall, Madrid, 2009.
6. A. Silberschatz, P. B. Galvin, G. Gagne. Fundamentos de Sistemas Operativos, Séptima edición. Mc Graw Hill, 2005.
7. S. Candela, C. Rubén, A. Quesada, F. J. Santana, J. M. Santos. Fundamentos de Sistemas Operativos, teoría y ejercicios resueltos. Paraninfo, 2005.
8. A. McIver, I. M. Flynn. Sistemas Operativos, Sexta edición. Cengage Learning, 2011.
9. J. Aranda, M. A. Canto, J. M. de la Cruz, S. Dormido, C. Mañoso. Sistemas Operativos: Teoría y problemas. Sanz y Torres S.L, 2002.
10. J. Carretero, F. García, P. de Miguel, F. Pérez, Sistemas Operativos: Una visión aplicada. Mc Graw Hill, 2001.
11. K. A. Robbins, S. Robbins. UNIX Programación práctica. Prentice Hall, 1997
12. K. A. Robbins, S. Robbins. Unix Systems Programming. Prentice Hall, 2003.

Tres experiencias docentes con una plataforma en la nube

M. Dolores Ruiz¹ and Francisco Torralbo²

¹ Dpto. Ingeniería Informática. Universidad de Cádiz. España

² Dpto. Matemáticas. Universidad de Cádiz. España
{francisco.torralbo, mariadolores.ruiz}@uca.es

Abstract. Nowadays, the use of cloud platforms is growing both for research and teach. This paper highlights the advantages and disadvantages of using the CoCalc cloud platform for teaching purposes. More precisely, we describe the platform, its inherent ecosystem and those features that can be of interest for teaching through three different use cases.

Resumen. Las plataformas en la nube son cada vez más usadas tanto en investigación como en docencia. En este trabajo se pone de manifiesto las ventajas del uso de una plataforma concreta, CoCalc, para la docencia. En particular, se describe el sistema usado y su ecosistema mediante tres experiencias docentes distintas que ilustran el uso de dicha herramienta.

Keywords: Teaching Platform · CoCalc · Jupyter · Sagemath · Python.

1 Introducción

Hoy en día es cada vez más habitual el uso de plataformas en la nube tanto para investigación como para uso docente. Esto viene motivado por la ubicuidad del acceso a internet y la versatilidad de las herramientas desarrolladas.

Actualmente se pueden encontrar distintos tipos de plataformas: algunas centradas en la gestión de los recursos docentes (p.e. Moodle [15]) y otras orientadas al desarrollo de software o a la investigación (p.e. Microsoft Azure [5], RCloud [19], Apache Zeppelin [2]...). Entre estas últimas destacamos la aparición de varias plataformas basadas en la idea de *cuaderno* impulsada por el sistema Jupyter [12] (p.e. CoCalc [6], Anaconda Cloud [1], Cybera [8], Google Colaboratory [11], Google Cloud Datalab [10], Binder [4] ...).

Jupyter es una aplicación web de código abierto que permite crear documentos (llamados *notebooks*, a los que nos referiremos en adelante como cuadernos) que contienen código, ecuaciones, gráficos y texto explicativo. La aplicación se comunica con un *kernel* que evalúa los comandos y devuelve el resultado. Inicialmente se desarrolló para los lenguajes Julia, Python y R de donde procede su nombre. Actualmente es posible usar dicha aplicación web con multitud de lenguajes diferentes (p.e. Sagemath, Octave, Javascript, Haskell, Scala... para una lista completa consultar [14]). La versatilidad de los cuadernos de Jupyter

al permitir en un mismo documento la inclusión de código, texto y figuras lo hace idóneo tanto para la investigación como para la docencia, como puede verse por ejemplo en [3, 9].

Ahora bien, este tipo de plataformas de cómputo en la nube son muy útiles para la docencia interactiva y a distancia pero no pretenden sustituir a las plataformas propiamente docentes, si no más bien complementarlas para facilitar la labor de enseñanza del profesorado, cuando esta se refiere a ejercicios de programación o simplemente el docente quiere ofrecer contenidos interactivos al alumnado.

En este artículo describiremos distintas experiencias docentes usando una de estas plataformas: CoCalc [6] (anteriormente conocido como SageMathCloud). La elección de esta frente al resto ha venido determinada puesto que es la única conocida por los autores que permite usar Sagemath (lenguaje de cálculo simbólico para matemáticas) así como gestionar cursos y alumnos. Es de destacar que esta plataforma ha sido utilizada desde 2013 en más de 200 cursos por miles de estudiantes. Diferentes instituciones de todo el mundo han confiado en esta plataforma como por ejemplo Oxford University, MIT, Sheffield University, Universidad Complutense de Madrid (ver lista completa en [7]) para impartir cursos en áreas muy diversas como son: matemáticas, física, bioinformática, programación, criptografía, computación gráfica, meteorología. . .

2 Descripción de la plataforma utilizada

Como hemos puesto de manifiesto en la introducción, CoCalc basa su diseño en Jupyter. Así, los documentos creados en la plataforma serán *cuadernos* que podrán contener texto, ecuaciones mediante $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ y código en distintos lenguajes de programación. Actualmente la plataforma permite la creación de estos cuadernos para Python, R, Sagemath, Octave, Spark, Julia, PostgreSQL, Scala, Singular así como la edición de documentos de $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$.

Los cuadernos y cualquier documento adjunto se agrupan en *proyectos*. En principio los documentos y cuadernos asociados a un proyecto son de acceso privado (únicamente el propietario del proyecto y los colaboradores que él haya agregado tienen acceso a los mismos). Sin embargo, cualquier cuaderno puede hacerse *público*, es decir, el sistema genera una URL para que cualquier persona pueda acceder (pero no editar) a su contenido.

Los proyectos pueden a su vez convertirse en *cursos*. De esta manera, el sistema permite añadir alumnos al curso para que puedan acceder a los archivos, asignarles tareas con una fecha límite y evaluar sus resultados. Es de destacar que los profesores que gestionan el curso tienen siempre acceso a los cuadernos de cada alumno y pueden editarlos con ellos, contando además con el acceso a un chat para la resolución de dudas en tiempo real (ver figura 1).

De forma opcional, se puede crear un proyecto colaborativo de manera que todos los usuarios (profesores y alumnos) tendrán permiso de edición. Esto puede resultar de utilidad para clases colaborativas en el laboratorio o bien para compartir material con el alumnado para que experimente con él.

2.1 Ventajas e inconvenientes de CoCalc

A continuación describiremos las ventajas e inconvenientes de usar este sistema.

En primer lugar podemos destacar las ventajas propias de ser un sistema en la nube: no hay necesidad de instalación por parte del profesor ni del alumnado, es independiente del sistema operativo y todos los usuarios comparten la misma versión del programa y de las librerías. Como desventaja es necesario tener acceso a internet aunque existe la posibilidad de instalar el entorno Jupyter en el ordenador para usar el contenido sin conexión. El inconveniente es la dificultad de esta tarea para un usuario medio así como la necesidad de instalar cada lenguaje de programación a usar de forma individual.

La segunda gran ventaja es la gratuidad del servicio. Existe la posibilidad de pago tanto por parte del profesor como del alumno para para ampliar los servicios como pueden ser: más espacio de almacenamiento, servidor dedicado sin reinicios, cómputos con tiempos de ejecución mayores, acceso a internet a través de los cuadernos, . . . Como contrapartida en su versión gratuita puede no estar disponible en ciertos momentos puntuales y, aunque no existe limitación en el número de alumnos, el rendimiento no es óptimo para su uso en el aula para un número elevado (véase la sección 4),

Otra característica a destacar es el control automático de versiones. El sistema guarda distintas versiones de cada cuaderno y es posible recuperar todo el historial de trabajo de cada alumno para ver la evolución del mismo. Así mismo, la plataforma guarda una copia de todos los archivos de cada proyecto cada cinco minutos mientras se está editando y permite recuperar archivos borrados.

Desde el punto de vista del profesor, CoCalc permite unificar todo el contenido que podría necesitar para su labor docente, combinando en un mismo cuaderno tanto contenido teórico como práctico, ya que un cuaderno puede contener explicaciones en texto y trozos de código ejecutable. Una característica interesante para la labor docente es la posibilidad de exportar los cuadernos en un formato de presentación. Además el profesor puede elaborar material docente tradicional puesto que el sistema dispone de un editor de $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$. El material elaborado en CoCalc puede ser usado y visualizado en cualquier plataforma basada en Jupyter con el núcleo de SageMath instalado (véase sección 4).

Con respecto a la interacción con los alumnos, la plataforma permite la asignación de diferentes roles para los usuarios. En general uno de los profesores será el propietario del proyecto mientras que el resto de docentes serán colaboradores y todos tendrán permiso de edición sobre todos los archivos del proyecto. Además existe el rol del alumno: este tendrá acceso únicamente al contenido que los profesores estimen oportuno.

Desde el punto de vista de la evaluación, la plataforma permite la gestión de actividades y tareas con fecha límite. Al asignar una tarea a los alumnos los archivos asociados a la misma son copiados en las cuentas personales de cada uno donde tienen acceso de edición. Durante el desarrollo de las tareas, CoCalc permite la revisión y resolución de dudas en tiempo real puesto que el profesor puede acceder al cuaderno que esta editando el alumno en cada momento, corregir errores y darle sugerencias mediante un chat integrado en la plataforma

(ver figura 1). Una vez finalizado el plazo de entrega, el sistema recupera dichos archivos para su evaluación. El profesor puede publicar tanto los resultados de la evaluación como observaciones a la misma (en un documento aparte o dentro del cuaderno del alumno) en la misma plataforma. Una vez finalizada la evaluación, el material generado por los alumnos (ejercicios de evaluación o cualquier tipo de cuaderno de prácticas) puede ser descargado en pdf para su archivado en caso de ser necesario para su posible auditoría. Además, se dispone de una amplia

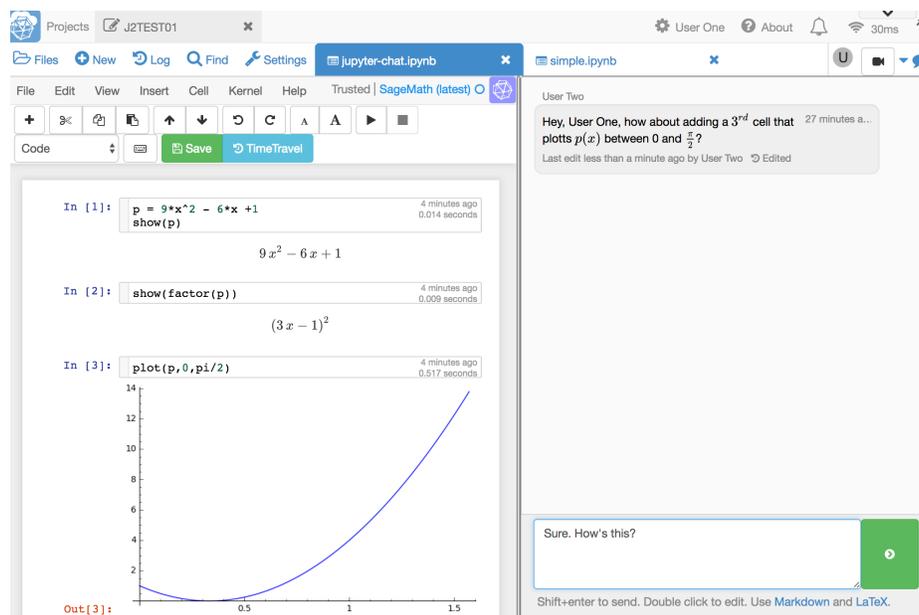


Fig. 1. Interfaz de CoCalc mostrando el chat

información sobre el uso y conexión de los estudiantes. La plataforma indica la fecha de la última conexión de cada estudiante así como la fecha de edición de los cuadernos por parte de este. Esto, junto con el control de versiones de la plataforma, permite monitorizar no sólo el trabajo del alumno sino su evolución y los problemas que ha encontrado.

3 Experiencias docentes

En esta sección mostramos tres casos diferentes de uso de la plataforma elegida. Estos ilustran parte del potencial de dicha herramienta para la enseñanza. Se trata de tres casos con objetivos docentes diferentes: en el primero de ellos se pretende únicamente ilustrar conceptos teóricos mediante ejemplos para los que el uso tradicional de la pizarra es insuficiente. En el segundo, la herramienta se

aprovecha para iniciar al alumnado en un sistema de cálculo simbólico. Finalmente, en el tercero se utilizó para impartir una asignatura no presencial.

3.1 Experiencia docente 1: Página web interactiva

En muchas situaciones las herramientas disponibles en un aula actual (pizarra y proyector) son insuficientes para enseñar ciertos conceptos pues no permiten al alumno interactuar y, de esa manera, afianzar el conocimiento transmitido en la lección. Esta experiencia se enmarca en un curso de doctorado sobre superficies (área de geometría diferencial).

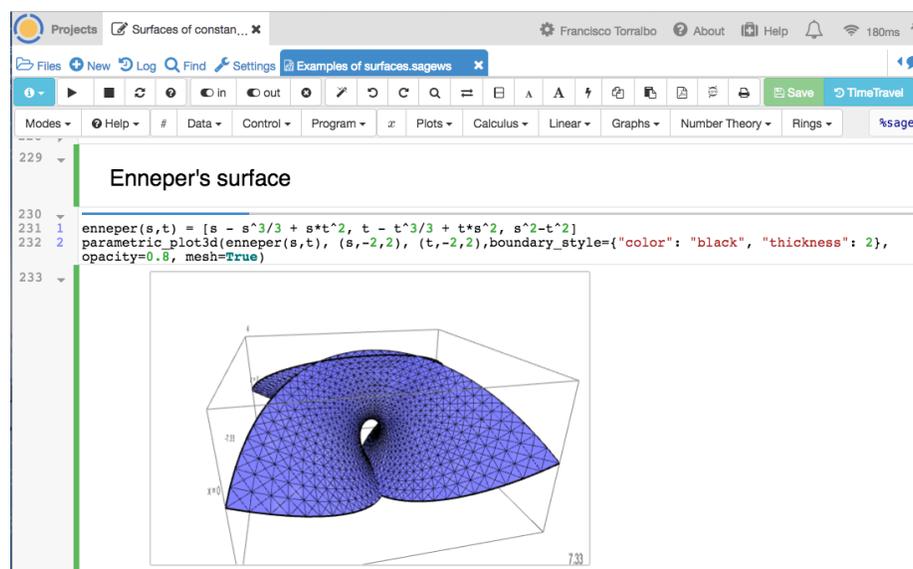


Fig. 2. Experiencia docente 1: Curso de doctorado sobre superficies

En este caso el alumnado no precisaba de una cuenta en la plataforma puesto que el material generado por el profesor estaba disponible de forma abierta. Más precisamente, se creó un cuaderno donde se dibujaron distintos tipos de superficies dependientes de varios parámetros (ver figura 2). Dicho cuaderno fue *publicado* de manera que cualquiera con la URL apropiada y una conexión a internet podía acceder al contenido. En concreto, además de incluir material complementario, el alumno podía manipular las superficies para entender mejor su geometría.

3.2 Experiencia docente 2: Prácticas de ordenador individuales

La parte práctica de asignaturas de áreas como las matemáticas o la informática precisa de la instalación y mantenimiento de un software concreto en los labora-

torios. En algunas ocasiones, dicho software no está instalado o bien la versión disponible está obsoleta. Además, dicho software puede requerir al alumnado de una licencia de pago si quiere trabajar fuera del aula de prácticas. En el caso bajo estudio el profesorado se encontraba en esta situación y decidió usar la herramienta elegida en este artículo para la elaboración de unas prácticas de matemáticas en un primer curso de ingeniería.

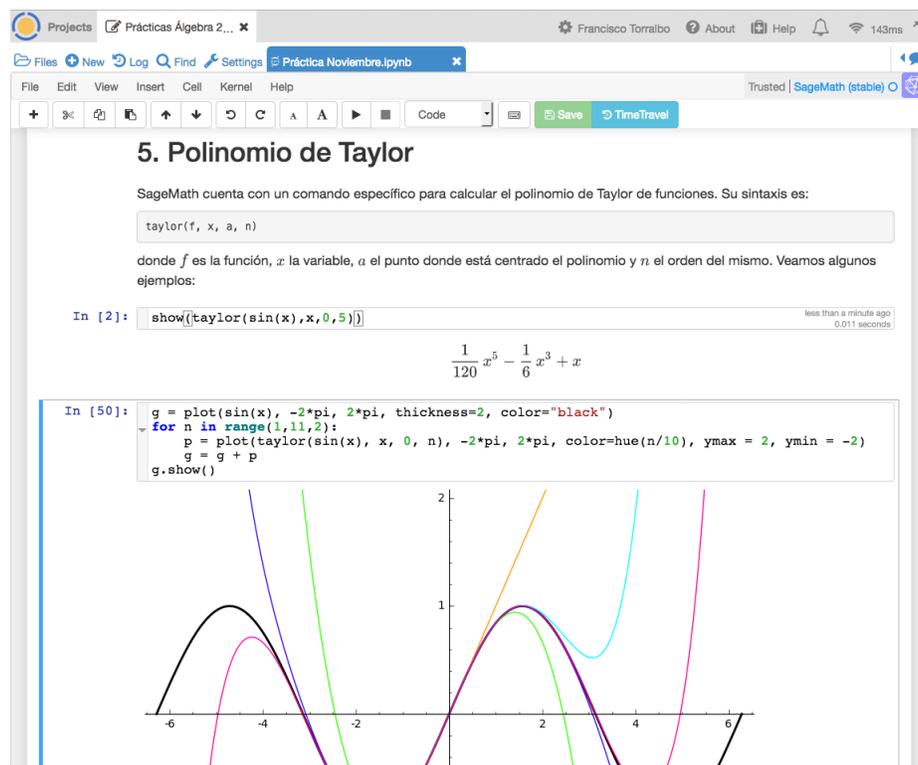


Fig. 3. Experiencia docente 2: Ejemplo del polinomio de Taylor

Durante esta experiencia, se requirió al alumnado registrarse en el sistema. La herramienta se usó tanto para la explicación en el laboratorio (ver figura 3) como para el desarrollo de los problemas propuestos al alumnado y su posterior evaluación. De entre las ventajas descritas en la sección 2.1 destacamos: no hay necesidad de instalación ni configuración por parte de la institución ni por parte del alumno, la gestión de las tareas propuestas con fecha límite y la información sobre el uso de la plataforma por parte de los estudiantes. Esto ayudó a tener un mayor control en la evaluación continua.

3.3 Experiencia docente 3: Enseñanza a distancia

Es cada vez más común que parte de la enseñanza de posgrado se realice a distancia dando más flexibilidad a la misma. Para la consecución exitosa de esta ya existen multitud de plataformas distintas enfocadas a la gestión de recursos docentes, siendo la más conocida y extendida Moodle. Sin embargo este tipo de plataformas no son las adecuadas para el desarrollo de unas prácticas con un lenguaje de programación. En esta última experiencia se usó la plataforma CoCalc para ilustrar distintas técnicas de aprendizaje automático (ver figura 4) en un curso de posgrado. En concreto, se usó el lenguaje de programación Python con sus librerías científicas Scipy y Scikit-learn, ambas disponibles en la plataforma. Más precisamente, se elaboraron una serie de prácticas introductorias al lenguaje y a las librerías y a posteriori se propusieron unas actividades prácticas evaluables usando la misma plataforma.

Errores en la predicción

```
In [16]: y_prediccion_test = red.predict(X_test)
errores = np.where(y_prediccion_test != y_test)[0]
print("Posición de los errores:", errores)
Posición de los errores: [ 21 111 136 156 212 296 357 433]
```

Vamos a hacer ahora un gráfico conjunto con todos los dígitos mal clasificados. Junto con cada imagen vamos a indicar su valor real (esquina inferior izquierda) y su valor predicho por la red (esquina superior derecha).

```
In [17]: # Configuración general de la figura
fig_errores = plt.figure(figsize=(6, 6)) # Tamaño (pulgadas)
fig_errores.subplots_adjust(left=0, right=1, bottom=0, top=1,
                             hspace=0.05, wspace=0.05)

# dibujamos los dígitos: cada imagen es 8x8 pixeles
for i, error in enumerate(errores):
    ax = fig_errores.add_subplot(8, 8, i + 1,
                                xticks=[], yticks=[])
    ax.imshow(X_test[error].reshape(8,8),
              cmap=plt.cm.binary, interpolation='nearest')

# Etiquetamos la figura con el número predicho
# que le corresponde
ax.text(0, 7, str(y_test[error]))
ax.text(6, 1, str(y_prediccion_test[error]))
```

Finalmente, la clase `MLPClassifier` dispone de un método para obtener directamente la *puntuación* que obtiene la red entrenada sobre un conjunto de datos (en principio el conjunto test que se ha reservado para tal fin). Para ello basta ejecutar el método `score(X, y)` que nos devuelve la precisión media sobre dicha familia de ejemplos

```
In [18]: red.score(X_test, y_test)
Out[18]: 0.9822222222222222
```

Lo anterior quiere decir que aproximadamente el 98% de los datos de test han sido correctamente clasificados, lo que es un alto índice de éxito teniendo en cuenta lo sencilla que es nuestra red.

Fig. 4. Experiencia docente 3: Curso de posgrado sobre Redes Neuronales

Entre las ventajas descritas anteriormente destacamos: todos los usuarios (profesores y alumnos) compartían la misma versión del lenguaje y de las librerías, evitando problemas derivados del uso de versiones diferentes; y la resolución de dudas en tiempo real mediante el chat que ofrece la plataforma. Además, debido al software usado en esta experiencia (Python y sus librerías científicas) existía la posibilidad para el alumno de instalar dicho software de forma gratuita (p.e. mediante la distribución Anaconda [1]) y trabajar sin conexión a internet.

4 Limitaciones y alternativas

Durante las distintas experiencias docentes se han observado varias limitaciones de la plataforma usada.

La primera limitación que queda patente es la imposibilidad de elaborar cuestionarios autoevaluables. Esta herramienta, disponible en múltiples plataformas docentes como Moodle, no se encuentra actualmente disponible en CoCalc. Esta herramienta sería de mucha utilidad para evaluar contenidos teóricos que suelen presentarse en las primeras fases de la enseñanza de una asignatura. Esto, a su vez, permitiría al profesor conocer el nivel de conocimiento de la materia del alumnado antes de comenzar las prácticas. Pero como ya pusimos de manifiesto en la introducción, este tipo de plataformas de cálculo no pretenden sustituir a las ya clásicas de gestión de recursos docentes que sí poseen esta funcionalidad. Así, un uso adecuado de cada una de ellas permitirá que se complementen. No obstante, hay prevista una extensión en CoCalc [17], que permitirá al profesor evaluar de forma automática ejercicios de programación mediante el diseño de tests automáticos.

La segunda limitación solo existe en su versión gratuita y es la imposibilidad de hacer cálculos intensivos o instalar librerías adicionales en caso de ser necesarias para una tarea concreta. En un uso reciente de la plataforma los autores han detectado un descenso considerable en el rendimiento de la plataforma que hace desaconsejable su uso con una cuenta gratuita. No obstante, en las prácticas elaboradas no se ha precisado de un alto proceso de cálculo y la mayoría de software y librerías usadas hoy en día están disponibles en sus versiones más recientes.

Una alternativa que solucionaría estas dos limitaciones es la adquisición de un servicio para cursos en CoCalc, que supondría un gasto semestral fijo que depende del número de alumnos. Otra opción es la instalación y mantenimiento de un servidor de Jupyter mediante el software JupyterHub [13] en el que habría que instalar el sistema de cálculo simbólico SageMath como un núcleo de Jupyter. Esta segunda opción permitiría realizar cálculos intensivos (de acuerdo a las prestaciones del servidor) y además existe la oportunidad de instalar la extensión de Jupyter Nbgrader [16] que permite implementar una forma de autoevaluación para problemas de programación usando Python. Como tercera alternativa, si la institución tiene un convenio con Google, es usar el servicio Google Colaboratory [11] que permite ejecutar y compartir cuadernos de Jupyter con una interfaz parecida a Google Drive.

La tercera limitación encontrada es la evaluación de prácticas grupales, ya que no existe una herramienta que permita crear o evaluar una actividad para un grupo de usuarios que permita además poder evaluar la participación de cada uno de ellos.

Una alternativa interesante a tener en cuenta es el servicio Binder [4]. Este permite generar un entorno jupyter a partir de un repositorio en GitHub sin la necesidad, por parte del alumno, de instalar software ni tener ninguna cuenta de usuario en un servicio en la nube. Como contrapartida, aunque el contenido generado es interactivo para el alumnado, no hay posibilidad de guardar los cambios introducidos en la sesión. Esta última alternativa podría enmarcarse dentro de la primera experiencia docente descrita en la sección 3.

5 Conclusiones

Las tres experiencias docentes descritas muestran el potencial tanto de esta plataforma en la nube (así como de otras similares que se han ido indicando) para su uso en diferentes escenarios docentes.

En todos los casos descritos se usó la versión gratuita de la misma durante los cursos académicos 2015–2016 y 2016–2017 y en ningún momento esto supuso algún problema en la ejecución de las actividades o afectó a la calidad docente de los cursos impartidos. No obstante, la plataforma CoCalc ha cambiado su política de servicio y actualmente la experiencia de uso de una cuenta gratuita ha empeorado. Esto se debe a la necesidad de hacer rentable el servicio en la nube debido a los gastos de mantenimiento que esto genera.

La mejor alternativa encontrada hoy día por los autores es o bien adquirir un servicio para cursos en CoCalc, que supondría un gasto semestral fijo que depende del número de alumnos, la instalación y mantenimiento de JupyterHub, que supondría un desembolso inicial por parte de la institución en hardware y mano de obra especializada en su puesta en marcha e instalación, o bien usar el servicio Google Colaboratory [11], que obligaría tanto al alumnado como al profesorado disponer de una cuenta de google si no existe convenio previo de la institución con dicha compañía (véase la sección 4).

Los profesores, gracias al control de versiones y a la monitorización ofrecida por el sistema, pudieron detectar cuando alguno de los ejercicios propuestos habían sido compartidos entre los alumnos, lo que supone una ventaja añadida al uso de esta plataforma.

Finalmente, aunque aquí se han descrito las bondades de CoCalc para fines docentes a través de la experiencia de los autores, queremos poner de manifiesto que también es adecuada para su uso en investigación como plataforma colaborativa.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad a través de los proyectos de investigación TIN2015-64776-C3-1-R (primera autora) y MTM2014-52368-P (segundo autor).

References

1. *Anaconda: Open data science platform powered by Python*. <https://anaconda.org/>. Disponible online. Último acceso 26/07/2017.
2. Apache software foundation. *Apache Zeppelin: A web-based notebook that enables interactive data analytics.* <https://zeppelin.apache.org/>. Disponible online. Último acceso 27/07/2017.
3. F. Aznar et al. Ipython Notebook: Herramienta para integración de teoría y práctica en Ingeniería y Arquitectura. *XIV Jornadas de Redes de Investigación en Docencia Universitaria: Investigación, innovación y enseñanza universitaria: enfoques pluridisciplinares* ISBN 978-84-608-7976-3, págs. 1678-1691, (2016).
4. Binder. *Binder: Turn a GitHub repo into a collection of interactive notebooks*. <https://mybinder.org/>. Disponible online. Último acceso 30/05/2018.
5. Microsoft Corporation, *Azure: servicios integrados en la nube*. <https://azure.microsoft.com/>. Disponible online. Último acceso 26/06/2017.
6. *CoCalc: Collaborative Calculations in the Cloud*. <https://cocalc.com/>. Disponible online. Último acceso 16/06/2017.
7. *CoCalc in teaching*. <https://github.com/sagemathinc/cocalc/wiki/Teaching>. Disponible online. Último acceso 18/06/2017.
8. *Cybera: Jupyter 'All-in-One' Science Platform*. <https://www.cybera.ca/>. Disponible online. Último acceso 27/06/2017.
9. E. Díaz et al. Nuevas herramientas de software libre para la corrección automática de ejercicios complejos. [Proyecto de Innovación Docente] (2016) <http://eprints.ucm.es/35311/>. Disponible online. Último acceso 05/06/2018.
10. *Google Cloud Datalab*. <https://cloud.google.com/datalab/>. Disponible online. Último acceso 27/06/2017.
11. *Google Colaboratory*. <https://colab.research.google.com/>. Disponible online. Último acceso 05/06/2018.
12. *Project Jupyter*. <http://jupyter.org/>. Disponible online. Último acceso 27/06/2017.
13. *JupyterHub*. <https://github.com/jupyterhub>. Disponible online. Último acceso 05/06/2018.
14. *Jupyter kernels*. <https://github.com/jupyter/jupyter/wiki/Jupyter-kernels>. Disponible online. Último acceso 26/06/2017.
15. *Plataforma de aprendizaje Moodle*. <https://moodle.org/>. Disponible online. Último acceso 26/06/2017.
16. *Nbgrader: A system for assigning and grading notebooks*. <https://github.com/jupyter/nbgrader>. Disponible online. Último acceso 11/08/2017.
17. *Cocalc Jupyter extension similar and compatible with nbgrader*. <https://github.com/sagemathinc/cocalc/issues/1929>. Disponible online. Último acceso 30/05/2018.
18. *Python programming language*. <https://www.python.org/>. Disponible online. Último acceso 26/06/2017.
19. *RCloud: The Social Coding Environment for Big Data Analytics & Visualization*. <http://rcloud.social/>. Disponible online. Último acceso 27/07/2017.

Propuesta metodológica para motivar a los estudiantes en el estudio de las Redes de Computadores

A. Zafra¹, E. Gibaja¹, M. Luque¹, and L. Toribio²

¹ Universidad de Córdoba, azafra@uco.es, egibaja@uco.es, mluque@uco.es

² Director de seguridad privada. Máster en Seguridad
ltoribiocastro@gmail.com

Resumen Computer networks is a course included in the curriculum of any Computer Engineering Degree. The main objective of this course is to initiate students in foundations of networks of computers. In order to achieve the competences related to this subject, carrying out practices in which students have to design and develop their own online application is crucial. This paper presents a methodological proposal to implement classic games where several users can play simultaneously from different locations. This proposal aims to engage students in the teaching/learning process to acquire and go in depth the specific skills in this subject.

Keywords: Computer network · client-server model · socket programming

Resumen Actualmente, el estudio de las redes de computadores se encuentra presente en cualquier plan de estudios del Grado en Ingeniería Informática. El objetivo principal de las asignaturas que introducen esta materia es iniciar a los estudiantes en el conocimiento de los fundamentos de las redes de computadores. Para alcanzar las competencias elementales relacionadas con esta asignatura, es importante acompañar su enseñanza con prácticas en la que los estudiantes diseñen y desarrollen su propia aplicación en red. Con la finalidad de motivar a los estudiantes para que se impliquen en el proceso de enseñanza/aprendizaje y sean capaces de adquirir y profundizar las competencias específicas en este tipo de asignaturas, se presenta una propuesta metodológica que implica la implementación de un juego clásico en red, donde varios usuarios pueden jugar simultáneamente desde cualquier localización.

Keywords: Redes de Computadores · modelo cliente-servidor · programación con sockets

1. Introducción

Cada vez son más los estudios que demuestran la relevancia de un aprendizaje que motive e incentive al estudiante, de forma que éste se convierta en una

parte importante en el proceso enseñanza/aprendizaje. Muestra de ello, es la gran cantidad de propuestas que actualmente se encuentran relacionadas con la gamificación [?,?]. Estas propuestas intentan que el alumno adquiera una serie de competencias, de forma divertida y amena, mientras está jugando. En esta línea, las prácticas y ejercicios que les planteamos a los estudiantes, deben motivarles para continuar aprendiendo, siendo necesario pensar en prácticas que les puedan resultar alentadoras y donde el alumno o alumna, pueda ver un resultado práctico y funcional de lo que está aprendiendo.

Es indudable que las redes de computadores están inmersas en nuestro día a día, utilizándose en casi cualquier ámbito de nuestra vida. La estructura interna en la que se basa todo su funcionamiento resulta transparente para los usuarios finales, quienes hacen uso de ellas a través de la mayoría de las aplicaciones que utilizan habitualmente, pero no conocen cómo se está produciendo realmente el envío y la recepción de la información. Este gran auge del uso de aplicaciones que emplean las redes de computadores, ha producido que asignaturas que enseñen los fundamentos de las mismas se impartan como asignaturas troncales en cualquier plan de estudios en un Grado en Ingeniería Informática. Su contenido suele englobar competencias tales como conocer y aplicar las características, estructura, organización y funcionalidades de los sistemas distribuidos, las redes de computadores e Internet, y diseñar e implementar aplicaciones basadas en ellas. La consecución de estas competencias implica que los estudiantes comprendan los diferentes protocolos, servicios, problemas, soluciones y los estándares más importantes que permiten que las computadores se comuniquen entre sí y ser capaces de programar aplicaciones en red utilizando los servicios orientados y no orientados a la conexión.

Estos contenidos, que suelen suponer la primera toma de contacto de los estudiantes con los modelos y arquitecturas que hacen uso de la red subyacente y de todas su conexiones, les suelen resultar complejos. Los estudiantes, como usuarios finales, están acostumbrados a usar aplicaciones en red, pero también son ajenos al funcionamiento interno y la programación de dichas aplicaciones. En este escenario, los estudiantes requieren conocer los modelos y/o protocolos con los que se va a trabajar, y conocer cómo se produce la comunicación para poder desarrollarla de la forma más eficiente posible.

En este artículo se presentan dos propuestas que pueden ser utilizadas en los guiones de prácticas de las asignaturas de introducción a las Redes de Computadores. Concretamente, se basa en definir dos juegos clásicos, que permitan que el alumno pueda diseñar y desarrollar su propio protocolo, que debe ser compartido por los extremos de la comunicación, profundicen en los conceptos de servicio, protocolo e interfaces, y que hagan uso de los servicios ofrecidos por la capas inferiores. En este caso, de la capa de transporte del protocolo TCP/IP [?]. El desarrollo de esta aplicación resulta muy motivadora para los alumnos, ya que al finalizar, disponen de una aplicación que pueden compartir con sus compañeros en cualquier momento y desde cualquier lugar.

En la sección ?? se determinan las tecnologías que se deben utilizar, comentando el modelo TCP/IP, la arquitectura cliente-servidor, y la programación con

sockets, como herramientas que nos permiten diseñar y desarrollar nuestras propias aplicaciones. En la sección ?? se explica la base de los juegos propuestos, detallando el protocolo que debe seguirse para desarrollar el juego del bingo y del dominó, que son las dos propuestas planteadas, y que permiten establecer las reglas de comunicación que deben producirse para que diferentes usuarios, desde diferentes localizaciones puedan conectarse, y jugar una partida en red. Finalmente, la sección ?? dará la conclusiones obtenidas.

2. Tecnologías disponibles

En esta sección se describen las principales tecnologías que se pueden utilizar para llevar a cabo las propuestas que se plantean en la siguiente sección. Debido a que la mayoría de las aplicaciones de Internet están basadas en la arquitectura TCP/IP [?], y siguen el modelo cliente/servidor, será en estos sistemas en los que nos basemos, para facilitar la implementación de las aplicaciones en red.

2.1. Modelo TCP/IP

TCP/IP [?] cuyo nombre viene dado por los dos protocolos más conocidos que emplea su arquitectura: Protocolo de Control de Transmisión (TCP, *Transmission Control Protocol*) y el Protocolo de Internet (IP, *Internet Protocol*), representa un conjunto de protocolos que supone un estándar abierto que recibió el aval del sector de redes y fue ratificado, o aprobado, por una organización de estandarización. Esta suite de protocolos permiten la interconexión de los dispositivos en Internet.

El conocimiento del conjunto de protocolos TCP/IP resulta fundamental para las personas que desean administrar o brindar soporte técnico a una red TCP/IP. Se trata de un sistema en capas independientes (ver Figura ??). Cada



Figura 1. Modelo TCP/IP

capa del modelo se comunica con un nivel adyacente (superior o inferior), utilizando el servicio de la capa inferior y proporcionándoselos a la capa superior. El modelo TCP/IP contiene cuatro capas que de abajo a arriba son: **capa de acceso a la red**: especifica la forma en la que los datos deben enrutarse, sea cual sea el tipo de red utilizado; **capa de Internet**: es responsable de proporcionar el paquete de datos. Debe realizar una serie de acciones sobre la información que recibe del nivel anterior para luego acometer el envío al nivel inferior; **capa de transporte**: brinda los datos de enrutamiento, junto con los mecanismos que permiten conocer el estado de la transmisión. Es la encargada de ofrecer una comunicación entre extremos de programas de aplicación. Comprende a los protocolos TCP y UDP; y **capa de aplicación**: es el más alto dentro del protocolo que nos ocupa y en él se encuentran una serie de aplicaciones que tienen la capacidad de acceder a diversos servicios a los que se puede acceder vía Internet.

Las aplicaciones que se proponen, serán implementadas en la capa de aplicación, haciendo uso de los servicios de la capa de transporte, que nos permite el diseño de aplicaciones que emplea un servicio no orientado a conexión (usando el protocolo *UDP*) o bien usando un servicio orientado a conexión (haciendo uso del protocolo *TCP*). Dependiendo del tipo de aplicación que se diseñe, puede resultar conveniente utilizar un servicio u otro.

2.2. Arquitectura Cliente-Servidor

A la hora de comunicar diferentes dispositivos podemos encontrar varias arquitecturas, las que son más ampliamente utilizadas son la arquitectura cliente-servidor, y la arquitectura peer-to-peer (P2P). La primera consiste en una aplicación principal que actúa como servidor manteniéndose a la espera de ofrecer un servicio, mientras que el cliente o clientes, son los que realizarán peticiones del servicio ofrecido. En este tipo de arquitectura es común tener un único programa servidor y cientos de aplicaciones clientes que realizan peticiones del servicio ofrecido (ver figura ??). En el caso de la arquitectura P2P, está basada en la unión de ordenadores en una red donde cada ordenador realiza la labor de cliente y servidor al mismo tiempo. Existen redes P2P híbridas que utilizan un servidor central para mantener la información sobre las redes o nodos. Entre las principales ventajas con las que cuenta la arquitectura cliente-servidor, podemos citar: *centralización del control*, los accesos, recursos y la integridad de los datos son controlados por el servidor de forma que un programa cliente defectuoso o no autorizado no puede dañar el sistema. Esta centralización también facilita la tarea de poner al día datos u otros recursos; *escalabilidad*, se puede aumentar la capacidad de clientes y servidores por separado. Cualquier elemento puede ser aumentado en cualquier momento, o se pueden añadir nuevos nodos a la red (clientes y/o servidores); y *fácil mantenimiento*, las diferentes funciones y responsabilidad se encuentra en los servidores, que pueden ser reemplazados, reparados o actualizados, sin que los clientes se verán afectados por ese cambio.

En esta sección, nos centraremos en la arquitectura cliente-servidor, que es la que proponemos para al implementación de las aplicaciones que se plantean.



Figura 2. Aplicación Cliente-Servidor

2.3. Socket de Berkeley

Existen diversas APIs que se pueden utilizar para TCP/IP, para esta propuesta se sugiere el uso de sockets BSD (Berkeley sockets) [?]. Con la interfaz de los sockets disponemos de un mecanismo estándar para utilizar la pila de protocolos TCP/IP y poder intercambiar información de forma eficiente a través de Internet, independientemente del sistema operativo y de la red local a la cual se encuentre conectado el host que las ejecuta.

La interfaz de los sockets añade una nueva abstracción para la comunicación a través de la red, el socket. Cada socket activo se identifica por un entero denominado su descriptor de socket. Desde el punto de vista funcional, el socket se define como un punto terminal al que pueden *conectarse* dos procesos para comunicarse entre sí. Dado que en un mismo dispositivo/ordenador podemos estar ejecutando de forma simultánea diferentes aplicaciones que utilizan Internet para comunicarse, resulta imprescindible identificar cada socket con una dirección diferente. Así, un socket se va a identificar por la dirección IP del dispositivo, más un número de puerto.

La especificación de un socket requiere:

- Familia de Protocolo. Representa el tipo de protocolo se va a utilizar para realizar las distintas comunicaciones. Los protocolos TCP/IP constituyen una única familia representada por la constante `PF_INET` (*Protocol Family Internet*).
- Tipo de servicio. Representa el tipo de servicio que se desea: orientado a la conexión (`SOCK_STREAM`) o no orientado a conexión (`SOCK_DGRAM`).
- Familia de direcciones finales. Representa la dirección final de una comunicación de una manera distinta. En el protocolo IP, una dirección final se especifica usando la dirección IP de la máquina y el número de puerto de protocolo que usará el programa. direcciones.

Los sockets permiten implementar una arquitectura cliente/servidor. Un socket queda definido por una dirección IP, un protocolo y un número de puerto. Estos parámetros configuran las condiciones necesarias para que el programa servidor y el programa cliente puedan leer y escribir información coordinadamente. Las primitivas de las que consta este API y que nos permit trabajar

tanto con sistemas orientados a conexión, como no orientadas a conexión, se puede consultar en el manual de Miller et al. [?].

3. Propuestas metodológicas

En esta sección, se describen dos propuestas metodológicas que pueden ser empleadas para que los estudiantes del Grado en Ingeniería Informática adquieran las competencias necesarias a los estudiantes en la asignatura relacionada con los fundamentos de las Redes de Computadores. Se basan en el diseño y desarrollo de dos juegos clásicos que permite que se puedan jugar múltiples partidas, con múltiples jugadores, de forma simultánea.

3.1. El juego del bingo

Especificación del juego. El juego del bingo está formado por: 90 bolas numeradas del 1 al 90, y por cartones de bingo. Cada cartón (ver figura ??) está formado por tres filas y nueve columnas. Cada fila tiene cinco valores y cuatro espacios se dejan en blanco, con lo que cada cartón tiene finalmente 15 números elegidos al azar, y completados con el siguiente procedimiento:

- La primera columna contiene números del 1 al 9,
- La segunda del 10 al 19,
- La tercera, del 20 al 29,
- La cuarta del 30 al 39,
- La quinta del 40 al 49,
- La sexta del 50 al 59,
- La séptima del 60 al 69,
- La octava del 70 al 79 y
- La novena del 80 al 90

Cada jugador recibe uno o más cartones, y paulatinamente se van sacando una de las 90 bolas disponibles. El objetivo del juego consiste en marcar los números que se encuentran en nuestro cartón conformen vayan saliendo, y lograr ser el primero en completar una línea, dos líneas y todo el cartón, que sería *hacer un bingo*.

	16	23			54	66		82
		20		44	52		72	80
7			32	40		61	75	

Figura 3. Cartón del juego del bingo

Implementación del juego. La comunicación entre los clientes del juego del bingo se realizará bajo el protocolo de transporte TCP, siguiendo la arquitectura cliente/servidor, donde los jugadores (clientes) se conectan al servidor para jugar. El protocolo de comunicación que se estable es el siguiente:

1. Un cliente se conecta al servicio y si la conexión ha sido correcta el servidor devuelve *+Ok. Usuario conectado.*
2. Para poder acceder a los servicios es necesario identificarse mediante el envío del usuario y clave para que el sistema lo valide. Los mensajes que deben indicarse son: *USUARIO <usuario>* para indicar el usuario, tras el cual el servidor enviará *+Ok. Usuario correcto* o *-ERR. Usuario incorrecto.* En caso de ser correcto el siguiente mensaje que se espera recibir de dicho usuario es *PASSWORD <password>*, donde el servidor responderá con el mensaje: *+Ok. Usuario validado* o *-ERR. Error en la validación.*
3. Un usuario nuevo podrá registrarse mediante el mensaje *REGISTRO -u <usuario> -p <password>*. El servidor llevará un control para evitar colisiones con los nombre de usuarios ya existentes, y responderá con el mensaje: *+Ok. Usuario registrado* o *-ERR. Error en el registro.*
4. Una vez conectado y validado, el cliente podrá solicitar jugar una partida indicando el mensaje *INICIAR-PARTIDA.* Recibido este mensaje en el servidor, éste comprobará:
 - Si con esta petición, ya se forma un grupo de cuatro jugadores. En cuyo caso, mandará un mensaje a cada uno de ellos, para indicarle que la partida va a comenzar: *+Ok. Empieza la partida.*
 - Si todavía falta algún jugador para iniciar la partida, mandará un mensaje al nuevo usuario, especificando que tiene su petición y que está a la espera de la conexión de otros jugadores: *+Ok. Petición Recibida. Quedamos a la espera de más jugadores.*
5. Una vez que están todos los jugadores, la partida comenzará. Para ello, se repartirá un cartón por jugador, el servidor enviará a cada jugador un mensaje, con el siguiente formato *CARTON |Num1, Num2, Num3, X, X, X, Num4, X, Num5; Num6, X, X, X, Num7, Num8, X, Num9, Num10; Num11, X, Num12, Num13, X, Num14, X, X, Num15|* y preparará las 90 bolas para iniciar el juego. El cartón deberá cumplir con las restricciones que se han especificado anteriormente.
6. Una vez comenzado el juego, el servidor irá cantando los números, de forma paulatina, enviando el mensaje *NUMERO-OBTENIDO <Número de dos dígitos>* a todos los jugadores de dicha partida.
7. En el momento que un jugador complete una línea, le mandará el mensaje *UNA-LINEA* al servidor, el cual informará a todos los jugadores de dicha partida con el mensaje: *+Ok. Jugador <Nombre> ha cantado una línea.* Si no es el primer jugador en obtener línea, el servidor enviará un mensaje al jugador para indicarle que no es un comando válido *-Err. El comando UNA-LINEA no procede.*
8. En el momento que un jugador complete dos líneas, le mandará el mensaje *DOS-LINEAS* al servidor, el cual informará a todos los jugadores de dicha

partida con el siguiente mensaje: *+Ok. Jugador <Nombre> ha cantado dos líneas.* Si no es el primer jugador en obtener dos líneas, el servidor enviará un mensaje al jugador para indicarle que no es un comando válido *-Err. El comando DOS-LINEAS no procede.*

9. En el momento que un jugador complete todo el cartón, le mandará el mensaje *BINGO* al servidor, el cual informará a todos los jugadores de dicha partida con el mensaje: *+Ok. Jugador <Nombre> ha cantado bingo,* y terminará la partida enviando el mensaje *+Ok. Partida finalizada.*
10. Si con la misma bola, varios usuarios obtienen línea, dos líneas o bingo y ambos jugadores mandan el mensaje en ese momento, a ambos jugadores se le considerará la misma condición de haber cantado línea, dos líneas o bingo, con independencia del mensaje que llegó primero.
11. Es responsabilidad del servidor comprobar que ningún jugador se ha equivocado a la hora de determinar la línea, dos líneas o el bingo. En caso de error por parte del jugador, el servidor le enviará al usuario el mensaje *-Err. Su cartón no satisface <UNA-LINEA/DOS-LINEAS/BINGO> con los números actuales.*
12. Un jugador siempre podrá salir de la aplicación en cualquier momento. De este modo, el comando *SALIR* al servidor, implicará:
 - Si estaba esperando para comenzar una partida, debe eliminarse de la espera de dicha partida y se le mandará un mensaje *+Ok. Desconexión procesada.*
 - Si estaba jugando una partida se eliminará el jugador de la partida y el resto de jugadores continuará con la misma, dejando un mensaje a todos los jugadores *+Ok. Usuario <Nombre> ha abandonado la partida.*
13. Cualquier mensaje que no use uno de los especificadores detallados, generará un mensaje de *-ERR* por parte del servidor.

Restricciones. Algunas restricciones a la hora de desarrollar la aplicación son:

- El protocolo deberá permitir mandar mensajes de tamaño arbitrario. Teniendo como tamaño máximo de envío una cadena de longitud 250 caracteres.
- El servidor aceptará servicios en el puerto 2050.
- El servidor debe permitir la conexión de varios clientes simultáneamente.
- Solamente se admitirán partidas con cuatro jugadores, y cada jugador jugará con un único cartón.
- Los jugadores que se conecten y soliciten jugar una partida se quedarán en espera, y en el momento que existan cuatro jugadores esperando comenzarán una partida.
- Se admiten hasta 10 partidas simultáneas, y un máximo de 40 jugadores podrán estar conectados simultáneamente en el servidor.
- Todos los mensajes mandados al servidor con respecto a la conexión y validación o el desarrollo del juego recibirán una respuesta indicando que ha sido correcto *+OK. Texto informativo,* o que ha habido algún error *-ERR. Texto informativo.*

- Debe tenerse presente, que en la implementación no se considerará encriptación de la información, algo que sería necesario en el envío de información segura.

3.2. El juego del dominó

Especificación del juego. El juego de dominó requiere de 28 fichas rectangulares. Cada ficha está dividida en 2 espacios iguales en los que aparece una cifra de 0 hasta 6. Las fichas cubren todas las combinaciones posibles con estos números. Pudiéndose jugar con 2, 3 o 4 jugadores, o por parejas.

El objetivo del juego es que cada jugador coloque todas sus fichas en la mesa antes que los contrarios y sumar puntos. El jugador que gana una partida, suma puntos según las fichas que no han podido colocar los oponentes. La partida termina cuando un jugador o pareja alcanza la cantidad de puntos indicada en las opciones de mesa.

Implementación del juego. La comunicación entre los clientes del juego del dominó se realizará bajo el protocolo de transporte TCP. La aplicación será implementada según una arquitectura cliente/servidor, donde los jugadores (los clientes) se conectan al servicio (el servidor).

El protocolo de comunicación establecido determina las siguientes reglas de comunicación:

1. Los puntos del 1) al 4) serían similares a los especificados en la sección ??.
2. Una vez conectado y validado, el cliente podrá llevar a cabo una partida en el juego indicando un mensaje: *INICIAR-PARTIDA*. Recibido este mensaje en el servidor, éste se encargará de comprobar las personas que tiene pendiente para comenzar una partida
 - Si con esta petición, ya se forma un grupo de cuatro jugadores, el servidor mandará un mensaje a cada uno de los jugadores, para indicarle que la partida va a comenzar: *+Ok. Empieza la partida*. El orden de los usuarios en el juego será el mismo orden en el que se ha realizado la conexión.
 - Si todavía falta algún jugador para iniciar la partida, el servidor mandará un mensaje al nuevo usuario, especificando que tiene su petición y que está a la espera de la conexión de otros jugadores: *+Ok. Petición Recibida. Quedamos a la espera de más jugadores*.
3. Una vez comenzada la partida, las 28 fichas del dominó serán repartidas al azar (7 fichas a cada jugador). El jugador que comience será el que tenga el seis doble.
4. En su turno, cada jugador colocará una de las fichas que tiene disponible, con la restricción de que dos piezas solamente pueden colocarse juntas cuando los cuadrados adyacentes son del mismo valor. La sintaxis para colocar una ficha será *COLOCAR-FICHA |valor1|valor2|,extremo*. Siendo valor1 y valor2, los valores que tiene la ficha que se quiere colocar y extremo indicará si la va a colocar a la derecha o a la izquierda.

5. Cada vez que un jugador envíe una ficha, el servidor reenviará la información del nuevo tablero a cada uno de los jugadores. El tablero será una cadena de texto formada por la secuencia de fichas que representan el estado de la partida. Por ejemplo, el mensaje `|2|1||1|1||1|4||4|4|` representa que hay cuatro fichas colocadas, concretamente, las fichas `|2|1|`, `|1|1|`, `|1|4|` y `|4|4|`. Por tanto, el jugador deberá tratar de poner una ficha que tenga como valor un 2 (por la izquierda) o un 4 (por la derecha).
6. El servidor será el encargado de comprobar que la ficha realmente pertenece a dicho jugador, y de que se puede colocar. En caso de que la ficha no pueda colocarse, el servidor devolverá: *-Err. La ficha no puede ser colocada*. En caso de que esa ficha no pertenezca a dicho jugador, el servidor enviará el mensaje: *-Err. La ficha no se encuentra entre sus fichas*.
7. El mensaje para indicar que es el turno de un jugador será enviado por el servidor al jugador específico mediante el mensaje: *+Ok. Turno de partida*.
8. Si un jugador intenta colocar una ficha cuando no es su turno, el servidor enviará el mensaje: *-Err. No es su turno*.
9. Si un jugador no puede colocar ninguna ficha en su turno, tendrá que pasar el turno al siguiente jugador, con el mensaje *PASO-TURNO*.
10. La partida continúa con los jugadores colocando sus fichas hasta que se presenta alguna de las situaciones siguientes:
 - Cuando un jugador coloca su última ficha en la mesa, el jugador gana la partida. El servidor mandará un mensaje indicando: *+Ok. Partida Finalizada. <Jugador> ha ganado la partida*, siendo `<jugador>` el identificador del jugador que ha ganado.
 - Todos los jugadores tienen fichas, pero ninguno de ellos puede continuar la partida. Esto ocurre cuando los números de los extremos ya han sido jugados 7 veces. En ese momento la partida está cerrada. Los jugadores contarán los puntos de las fichas que les quede; el jugador con menos puntos será el ganador. El servidor mandará el mensaje: *+Ok. Partida Finalizada. <Jugador> ha ganado la partida*, siendo `<jugador>` el identificador del jugador que ha ganado.
11. Un jugador siempre podrá salir de la aplicación en cualquier momento. De este modo, el comando *SALIR* implicará:
 - Si estaba esperando para comenzar una partida, debe eliminarse de la espera de dicha partida y se le mandará un mensaje *+Ok. Desconexión procesada*.
 - Si estaba jugando una partida, se anulará dicha partida, dejando un mensaje a todos los jugadores *+Ok. La partida ha sido anulada* y toda la información relativa a dicha partida será eliminada, y el resto de jugadores deberán indicar que quieren iniciar una nueva partida, para ponerse a la espera de que les sea asignada una.
 - En el momento que la partida es finalizada, los jugadores continúan conectados, y si desean jugar una nueva partida deberán indicarlo con el mensaje: *INICIAR-PARTIDA*.
12. Cualquier mensaje que no use uno de los especificados, generará un mensaje: *-ERR. Comando no reconocido* por parte del servidor.

Restricciones a tener en cuenta en el juego. Algunas restricciones a la hora de desarrollar la aplicación son:

- El protocolo deberá permitir mandar mensajes de tamaño arbitrario. Teniendo como tamaño máximo de envío una cadena de longitud 250 caracteres.
- El servidor aceptará servicios en el puerto 2051.
- El servidor debe permitir la conexión de varios clientes simultáneamente.
- Solamente se admitirán partidas con cuatro jugadores (no se tendrá en cuenta partidas con un número menor de jugadores inicialmente, ni la consideración del juego por parejas).
- En el momento que existan cuatro jugadores conectados podrán comenzar una partida.
- Se admiten hasta 10 partidas simultáneas y hasta 40 jugadores conectados simultáneamente.
- Una partida finaliza cada vez que un jugador coloque todas sus fichas, y dicho jugador será designado el ganador de dicha partida.
- No se considerará la suma acumulativa de puntos en diferentes partidas para alcanzar un total de puntos que determine al ganador.
- Todos los mensajes mandados al servidor con respecto a la conexión y validación o la creación de canales recibirán una respuesta indicando que ha sido correcto *+OK. Texto informativo* o que ha habido algún error *-ERR. Texto informativo*.
- Debe tenerse presente, que en la implementación no se considerará encriptación de la información, algo que sería necesario en el envío de información segura.

4. Conclusiones

Este trabajo presenta dos recursos didácticos para la adquisición de las competencias en las asignaturas que intentan mostrar los fundamentos de las Redes de Computadores. Entre las principales ventajas que se han encontrado en su puesta en práctica en la asignatura de Redes del Grado en Ingeniería Informática de la Universidad de Córdoba, se encuentran:

- Los estudiantes han adquirido mediante el diseño y desarrollo de las aplicaciones afianzar conceptos esenciales en estos contextos, como son los protocolos, los servicios y las interfaces, que se encuentran definidos en las diferentes capas. El desarrollo de aplicaciones cliente/servidor usando sockets conlleva el diseño de un protocolo consistente en un lenguaje común entre el cliente y el servidor.
- La consecución de una aplicación final, operativa y disponible, que les ha permitido compartirlas con sus compañeros a través de la red, ha sido muy bien aceptada por los estudiantes. El hecho de estar motivados, ha conseguido una mayor implicación de los estudiantes, que en muchos casos, han mejorado la funcionalidad de forma voluntaria.

Referencias

1. A.M. Pisabarro, C.E. Vivaracho. Gamificación en el aula: gincana de programación. Actas de las XXIII Jornadas sobre Enseñanza Universitaria de la Informática, 39-46, 2017.
2. S. Luján, E. Saquete. Mejora en el aprendizaje a través de la combinación de la clase invertida y la gamificación. Actas de las XXIII Jornadas sobre Enseñanza Universitaria de la Informática, 205-212, 2017.
3. Charles Kozierok. 2005. The TCP/IP Guide: A Comprehensive, Illustrated Internet Protocols Reference. No Starch Press, San Francisco, CA, USA.
4. Charles Kozierok. 2005. The TCP/IP Guide: A Comprehensive, Illustrated Internet Protocols Reference. No Starch Press, San Francisco, CA, USA.
5. Miller, F.P. and Vandome, A.F. and McBrewster, J. 2009. Berkeley Sockets: Computer Network, Internet Socket, Unix Domain Socket, Application Programming Interface, Microsoft Windows, Library (computing), C (programming Language), Inter-process Communication. ISBN 9786130255060, Alphascript Publishing.

Individualizando la Tutoría del Alumno de Ingeniería

Antonio J. Tomeu Hardasmal, Alberto G. Salguero Hidalgo

Escuela Superior de Ingeniería (UCA)
Campus Universitario de Pto. Real CA 11519, ESPAÑA
antonio.tomeu, alberto.salguero@springer.com

Resumen Es un hecho conocido por los profesores universitarios, por experiencia propia, que el uso de la tutoría presencial que hace el alumnado es de escasa entidad. Una prospección elemental entre el alumnado nos ha llevado a identificar varias causas que motivan tan bajo aprovechamiento de este recurso. El objetivo de esta experiencia de innovación ha sido la adaptación de la tutoría a las necesidades concretas de cada alumno, previa identificación de las mismas mediante el uso del Campus Virtual. Para ello, cada clase teórica ha finalizado con la identificación de los conceptos que el alumno no ha captado bien, mediante una serie de preguntas a contestar de forma inmediata presentadas mediante el campus virtual de la asignatura, y respondidas en tiempo real por los estudiantes. Una vez identificadas, se invierten los roles; es el profesor quién demanda la presencia del alumno en la tutoría, con el objeto de cubrir las lagunas que previamente ha identificado. Los resultados obtenidos muestran que el modelo planteado mejora los resultados finales de nuestros alumnos.

1. Introducción

De unos años a esta parte, el uso de las TICs se ha convertido en un recurso estratégico en el ámbito de la enseñanza superior ([2], [3], [6],[15], [65]), y las Universidades han estado, en general, a la altura del reto tecnológico que se les presentaba. Basta comprobar el despliegue de aulas y laboratorios de informática, la adquisición de *clusters* de procesadores, de *software* de propósito general o específico, gratuito o propietario, y de los recursos digitales a los que los estudiantes universitarios tienen acceso gratuito ([46], [63]) en la actualidad, para concluir que gozan de una muy privilegiada situación con respecto a los de generaciones precedentes. Uno de las últimas -no diremos reciente- incorporación a esta revolución en lo tecnológico ha sido protagonizada por el *clicker* ([51]), que se ha convertido de forma rápida y sencilla en una herramienta capaz de proporcionar al docente, durante el desarrollo normal de una sesión de docencia teórica estándar, información de *feedback* ([13], [39], [2], [4], [52], [7], [10], [17], [19], [27], [52], [54]) sobre el desempeño en tiempo real ([11], [18]) de sus estudiantes.

Ello se logra dotando a cada estudiante de uno de estos dispositivos, similares a un mando a distancia, y utilizando un *software* de propósito específico que

muestra un cuestionario, al que los estudiantes responden utilizando el *clicker*, el cuál envía las respuestas mediante tecnología inalámbrica. Estas son recolectadas habitualmente de forma anónima, y presentadas al profesor, que puede mostrarlas en su herramienta de visualización de la forma que estima oportuna, normalmente en forma de histograma o tabla. Esta información de retorno permite al profesor reconducir y adaptar su docencia en tiempo real al grado de comprensión de los contenidos que sus alumnos están alcanzando. La limitación del modelo expuesto aquí se concreta en dos aspectos:

- El modelo proporciona información global del grado de comprensión del grupo de estudiantes participantes sobre un ítem concreto ([45], [76], [27]), pero no se utiliza para obtener información específica sobre un alumno dado, ni se plantea la adaptación de la docencia para ese alumno de manera individualizada, aunque sí mejora el grado de interactividad y de participación de los estudiantes ([14], [28], [32], [33], [36]).
- El uso del sistema de *clickers* para un centro universitario de tamaño medio requiere de una inversión que no es modesta¹, y de una dotación presupuestaria dedicada al mantenimiento del sistema, así como de una formación del profesorado destinado a utilizarlo.

2. Uso Actual de la Tutoría Presencial

Es un hecho conocido por los profesores universitarios, por experiencia propia, que el uso de la tutoría presencial en el despacho –e incluso virtual, a través de plataformas como *Moodle*– que hace el alumnado es de escasa entidad, por no decir inexistente. Como ejemplo en la Universidad de Cádiz, y para las asignaturas que imparte uno de los autores, en las encuestas de evaluación del profesorado correspondientes al curso académico 2014-2015 pudimos constatar que:

- Para la asignatura *Modelos de Computación*, donde el 60 % de los alumnos consideran que la dificultad es Alta y el 6,7 % Muy Alta, al ser preguntados por el uso de la tutoría, el 80 % indicaban que la usaron “Algo”, y el 20 % que “Bastante”.
- Para la asignatura *Programación Concurrente y de Tiempo Real*, donde el 40 % de los alumnos consideran que la dificultad es Alta y el 60 % Muy Alta, al ser preguntados por el uso de la tutoría, el 64 % indicaban que la usaron “Nada”, el 28 % que “Algo” y el 8 % que “Bastante”.

En ninguna de las asignaturas hubo alumnos que admitieran usar “Mucho” la tutoría. Dado todo lo anterior, es claro que la mejora del uso de la tutoría por parte del alumnado, y la adaptación de la misma a sus necesidades, es un problema que debe ser resuelto. Para abordar el problema en un primer paso, y

¹ Si por ejemplo, suponemos un centro universitario con 400 puestos de docencia teórica, la adquisición de los *clickers* requeriría una inversión inicial de aproximadamente 18000 €, sin considerar el coste de adquisición de los receptores del profesorado, y el posterior mantenimiento del sistema.

durante el curso 2015-2016, efectuamos un sondeo a nuestros alumnos ($n = 127$) de ambas asignaturas, mediante una encuesta propia acerca de las causas que les llevan a no acudir a tutoría; a partir de ella, hemos podido identificar² las siguientes:

- no la consideran útil (46 %).
- no creen que se adapte a sus necesidades (91 %).
- no llevan la materia al día como para que la tutoría les resulte útil (71 %).
- no preparan la tutoría antes de acudir a ella (87 %).
- no conocen bien su funcionamiento (56 %).

Constatadas las variables anteriores, el proyecto de innovación que proponemos se centra en revertirlas, y tiene por tanto como objetivo principal la adaptación de la tutoría a las necesidades concretas de cada alumno ([73]), de manera continuada en el tiempo. Para ello, es necesario como primer paso identificar cuáles son esas necesidades y para lograrlo, proponemos el uso del Campus Virtual como herramienta que nos proporcione, una vez finalizada cada sesión de docencia teórica, *feedback* sobre el grado de asimilación que de la misma ha tenido el alumno ([12]). Para lograrlo, el alumno deberá contestar una serie de preguntas habilitadas como cuestionario en el Campus Virtual, el cuál nos proporcionará a los profesores un ítem numérico, que definimos como *performance status* (*PS*) y que nos permitirá:

- conocer aquellos aspectos de contenido donde el alumno ha tenido más dificultades de comprensión para cada sesión de docencia teórica.
- indicar al alumno cómo debe preparar la tutoría sobre esos aspectos.
- cambiar los roles habituales ([31], [66]) de la tutoría; ahora será el profesor quién cite al estudiante a una tutoría presencial, en lugar de ser este último quién la demanda.
- permitir al profesor adaptar el contenido de la tutoría a lo que cada alumno concreto necesita, de forma continua a lo largo del semestre.

3. Contexto de Desarrollo

Desarrollamos a continuación la descripción del marco contextual en el que ha tenido lugar esta experiencia. Se desarrolló en el curso 2016-2017 durante el que se ha desarrollado la docencia de la asignatura *Modelos de Computación* para un total de 12 alumnos matriculados, estructurados en un único grupo teórico. Se imparte durante el primer semestre del curso con un total de 3 créditos teóricos y 3 créditos prácticos. Las competencias específicas que el estudiante debe adquirir son:

- capacidad para tener un conocimiento profundo de los principios fundamentales de los modelos de la computación.

² Todos los porcentajes están calculados tomando el tamaño como la muestra como el 100 %, si bien el número de alumnos matriculados fue superior.

Cuadro 1. Estructura de Contenidos de la Asignatura

Tópico	Dedicación(%)
Un Modelo de Funciones Computables	15 %
La Jerarquía de Funciones	20 %
Universalidad y Diagonalización	20 %
Computación con Cadenas	15 %
Máquinas de Turing	15 %
Modelos de Computación Paralelos	15 %

- saberlos aplicar para interpretar, seleccionar, valorar, modelar, y crear nuevos conceptos, teorías, usos y desarrollos tecnológicos relacionados con la informática.

El proyecto ha sido desarrollado por los dos docentes asignados a la docencia de la asignatura, pertenecientes al mismo departamento y a diferentes áreas de conocimiento: Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, y Lenguajes y Sistemas Informáticos. Es una asignatura con una alta carga matemática, que los alumnos necesitan trabajar con continuidad para estar en condiciones de afrontarla con garantías.

La asignatura está dedicada, en su temario teórico, al desarrollo de los tópicos habituales de la Teoría de la Computabilidad, con los porcentajes³ de dedicación que se muestran en el cuadro 1. La asignatura se evalúa por defecto bajo el sistema de evaluación continua, de acuerdo a los ítems y porcentajes de ponderación que se ilustran en el cuadro 3. El proyecto se pone en práctica en las clases teóricas de la asignatura, utilizando para ello el aula asignada por la Escuela Superior de Ingeniería, con acceso a la red inalámbrica de la Universidad, lo cuál permitió a los alumnos el uso del dispositivo de conexión inalámbrico preferido (ver Figura 1). Se tuvo también disponible un cañón proyector y una pizarra, junto con la habitual mesa multimedia para uso docente. La docencia teórica se desarrolló en el calendario previsto por el Centro durante el cuatrimestre, en sesiones teóricas de dos horas semanales, de acuerdo a lo establecido por la Subdirección de Ordenación Académica del Centro.

La experiencia se ha desarrollado de conformidad con el cronograma descrito en el cuadro 2. La acción se implanta desde Junio de 2016 hasta Julio de 2017. Tras un análisis bibliográfico exhaustivo que recogemos en la sección de referencias, desarrollado de Junio a Septiembre de 2016, dedicamos este último mes a la preparación de las encuestas a desarrollar tras cada sesión de docencia teórica por los estudiantes (ver anexo), y al desarrollo e incorporación de los módulos que darían soporte a las mismas en el espacio virtual de la asignatura, soportado por *Moodle*.

³ Los porcentajes que se indican en el cuadro están calculados sobre las 30 horas de docencia teórica que la asignatura tiene asignadas.

Cuadro 2. Cronograma de Actuaciones

Actuación	Periodo de Desarrollo
Planteamiento	Junio-Septiembre de 2016
Desarrollo de Encuestas	Septiembre de 2016
Preparación Campus Virtual	Julio-Septiembre de 2016
Proyecto	Octubre 2013-Enero 2017
Docencia	Octubre 2013-Enero 2017
Recogida de Datos	Mayo de 2017
Análisis de Datos	Mayo de 2017
Elaboración de la Memoria	Mayo-Junio de 2017
Entrega de Productos	Junio de 2017

Cuadro 3. Evaluación Continua de la Asignatura

Ítem a Evaluar	Ponderación(%)
Pruebas de Control de Progreso	40 %
Asignaciones de Prácticas	30 %
Aportaciones a Wiki	10 %
Trabajo Final Individual	10 %
Defensa Oral del Trabajo	10 %

La puesta en práctica del modelo propuesto en el proyecto se desarrolló en paralelo junto con la docencia ordinaria de la asignatura, en el primer semestre del curso académico 2016-2017. Al finalizar el mismo, se diseñó la encuesta que serviría para medir el grado subjetivo de satisfacción de la experiencia entre los estudiantes de la asignatura, efectuándose el trabajo de campo de recogida de datos a mediados del mes de Enero. El resto de acciones, consistentes en el análisis de los resultados y en la elaboración de este documento se desarrollaron desde Marzo hasta Junio de 2017. No se solicitó financiación alguna para el desarrollo de la propuesta, dado que uno de los objetivos de la misma era demostrar que el modelo propuesto se puede implantar a coste cero.

4. Aportaciones a la Innovación Docente

Ya hemos señalado que el uso del *clicker* para obtener *feedback* informativo de los estudiantes no es precisamente una novedad en la enseñanza superior ([14], [16], [41], [51],[70], [73]). No obstante los trabajos anteriores, creemos que es posible reformular el modelo estándar del uso del *clicker* para contextualizar la tutoría presencial de una nueva forma que, esta vez sí, suponga una contribución novedosa a la innovación docente; los elementos novedosos que pretendemos

aportar con la experiencia descrita en este documento se recogen en los ítems siguientes:

- Mostrar cómo es posible una docencia basada en el modelo estándar de uso del *clicker* sin necesidad de que la Universidad haga desembolso económico alguno en la adquisición de estos dispositivos. La experiencia demostrará cómo el uso adecuado del Campus Virtual y las herramientas de que este dispone, junto con el uso de dispositivos de conexión inalámbrica de uso común y disponibilidad segura entre los estudiantes como son la computadora portátil, las *tablets* o los *smartphones* permite hacer lo mismo sin necesidad de adquirirlos.
- Dar al profesor los elementos necesarios para poder identificar, tras cada sesión de docencia teórica y de forma individualizada, qué lagunas de conocimiento han quedado en cada uno de los estudiantes de la asignatura.
- Utilizar la información anterior para reforzar el conocimiento peor adquirido, adaptando la tutoría presencial a las necesidades reales del estudiante. La gran aportación en este punto radica en la inversión de los roles habituales; la tutoría ahora tiene lugar a demanda del profesor, y no del estudiante. Cuando éste acude a ella, el profesor sabe de forma anticipada hacia dónde debe dirigirla, y que contenidos deben ser reforzados.
- Garantizar a los estudiantes un progreso más seguro, estable y supervisado a lo largo de los contenidos del curso. Si el estudiante acude a la tutoría cuando el profesor se lo demanda, se logra que en la siguiente sesión de docencia teórica que se tenga programada, esta se desarrolle sobre bases de contenido más firmes, al haber identificado y solventado mediante el modelo los aspectos más débiles en el esquema de conocimientos del alumno. E insistimos: de forma automatizada e individualizada para los estudiantes.

5. Materiales y Método

Para implantar el enfoque de tutoría adaptada individualizadamente a las necesidades de cada estudiante que el proyecto plantea, escogimos la asignatura de Modelos de Computación, correspondiente al tercer curso del Grado de Ingeniería Informática, con un grupo pequeño de estudiantes ([5], [5]) y comenzamos por desarrollar, para cada sesión de docencia teórica del curso, un cuestionario ([7]) de preguntas dedicadas a medir el grado de comprensión que cada estudiante había alcanzado sobre cada uno de los conceptos desarrollados en esa sesión ([1]). Los últimos diez minutos de cada sesión fueron dedicados por los estudiantes a contestar ese cuestionario, que estuvo soportado mediante el módulo de encuestas, disponible en la versión de *Moodle* soportada en el Campus Virtual de la Universidad de Cádiz.

Los participantes fueron el total de 12 alumnos matriculados en la asignatura (11 hombres y 1 mujer), que siguieron las 15 sesiones de docencia teórica, durante un total de 120 minutos un día a la semana. El soporte de lecturas con el que los estudiantes debían preparar las mismas se puso a su disposición en el espacio

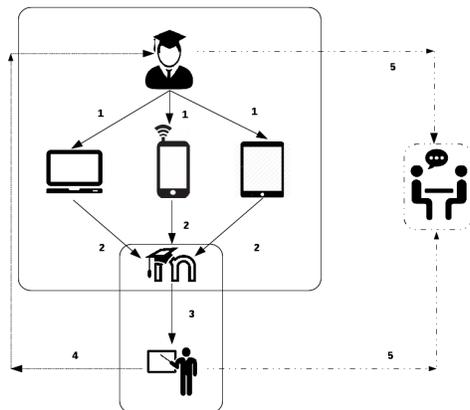


Figura 1. Diagrama del Proceso de Tutoría Propuesto

Moodle de la asignatura, junto con las diapositivas de soporte a las explicaciones del profesor.

La Figura 1 ilustra la secuencia de trabajo que proponemos como elemento nuclear del modelo, y a la que sometimos a nuestros estudiantes durante todo el semestre. Tras concluir la sesión teórica, el estudiante contesta (1) al cuestionario (ver ejemplo en el anexo) que se le propone mediante *Moodle* utilizando el medio de conexión inalámbrico que estima oportuno (el cuadro 4 muestra la estructura de uso de medios *WiFi* en nuestro grupo de alumnos), durante diez minutos. Los cuestionarios constan en general de diez preguntas de respuesta única; cada respuesta correcta aporta un punto, mientras que cada respuesta incorrecta resta 0,25 puntos; las respuestas sin contestar no puntúan. Se define el *performance status* (*PS*) para una sesión de docencia teórica de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$PS = N_c - (N_i \times 0,25) \tag{1}$$

donde N_c es el número de respuestas correctas, que aportan 1,0 puntos, y N_i es el número de respuestas incorrectas. Por construcción, se verifica siempre que $PS \in [0, 10]$ Los datos que proporcionarán información de *feedback* al profesor ([1], [31]) de manera individualizada para cada estudiante son almacenados (2) por *Moodle* ([3]).

Posteriormente, en tiempo de despacho (3), el profesor obtiene de forma automatizada el valor de *PS* de cada estudiante para el cuestionario de la sesión, mediante una hoja de cálculo. Aquellos estudiantes con *PS* en el intervalo $[0, 6]$ son citados (4) a una sesión de tutoría presencial mediante correo electrónico. Finalmente, la tutoría tiene lugar (5) de forma presencial en el despacho del profesor. En ella, y utilizando como indicador el valor de *PS* obtenido por el alumno en el cuestionario, y la información concreta sobre los errores cometidos por éste sobre ítems y conceptos concretos del mismo, el profesor actúa reforzándolos,

Cuadro 4. Uso de Dispositivos *WiFi*

Medio <i>WiFi</i>	Uso(%)
Laptop	81 %
Smartphone	16 %
Tablet	3 %

y dirigiendo el estudio posterior del estudiante, bien indicando la repetición de determinadas lecturas, bien proponiendo lecturas adicionales y ejercicios de refuerzo. El estudiante puede optar por acudir o no voluntariamente a la tutoría que se le ofrecía. Se aumenta así el grado de interacción con los estudiantes ([9], [35], [37], [55]), y se les mantiene estimulados de forma continua frente al estudio de la materia.

6. Análisis y Resultados

Para efectuar el análisis de la experiencia de innovación que proponemos hemos escogido un escenario prospectivo ternario para desarrollar su evaluación:

- Escenario asistencial: donde nos limitamos a cuantificar el grado de uso de la propuesta por los estudiantes a lo largo del semestre.
- Escenario objetivo: hemos comparado el rendimiento de los estudiantes durante el curso 2016-2017 bajo la experiencia descrita, con el grupo de control constituido por sus compañeros que cursaron la asignatura en el año académico anterior, y que recibieron la docencia bajo el modelo ordinario durante el curso 2015-2016. Este análisis ofrece una visión objetiva de la bondad del modelo que proponemos, basado en evidencia estadística estricta.
- Escenario subjetivo: los alumnos han completado una encuesta de opinión, donde han ofrecido su valoración subjetiva de la experiencia al término de la misma.

6.1. Escenario Asistencial

Durante el total de quince semanas de docencia teórica, se dedicaron diez minutos por sesión durante los cuáles los estudiantes completaron el cuestionario correspondiente a la misma. Un alumno abandonó a la quinta semana. En tiempo de despacho, identificamos a través de *Moodle* a lo largo del semestre 27 situaciones en las cuales el *PS* observado era inferior o igual a 6,0. A todos los alumnos en esa situación se les ofreció el desarrollo de una tutoría presencial para tratar los puntos débiles que habíamos identificado, teniendo lugar un total de 19 acciones asistenciales, lo cuál supone un porcentaje de utilización del recurso del 66,6 % sobre el total posible. Los alumnos restantes desdeñaron el uso del recurso por razones variadas: no poder acudir en el horario que se les ofrecía, falta de respuesta a la tutoría a que se les citaba, etc.

Cuadro 5. Análisis Comparado con el Grupo Control

Categoría	Cont.	%	Exp.	%	% Dif.
Matriculados	17	100,0	12	100,0	0,0
No Presentado	2	11,76	1	8,2	3,46
Suspenseo	1	5,88	0,0	0,0	5,88
Aprobado	6	35,29	3	25,0	10,29
Notable	7	41,17	6	50,0	-8,83
Sobresaliente	1	5,88	2	16,6	-10,72

6.2. Escenario Objetivo

Como ya se ha indicado se comparan un grupo control, bajo el modelo de tutoría clásico, con el nuevo modelo de tutoría descrito en este documento, midiendo y comparando los resultados finales globales entre ambos grupos de estudiantes. Los resultados se muestran en el cuadro 5. Este cuadro recoge, para el grupo de control del curso 2015-2016 y para el grupo experimental del curso 2016-2017, en las columnas segunda y cuarta, el número de alumnos matriculados en la asignatura, y luego los desglosa según la categoría de calificación final en que se encuadran. Las columnas tercera y quinta ofrecen la misma información porcentualmente, y la sexta columna muestra la diferencia entre grupos en %.

El análisis de esa diferencia ilustra varios aspectos que demuestran un margen apreciable de mejora en los resultados del grupo experimental que ha utilizado el nuevo modelo, frente al grupo de control que recibió la tutoría con el modelo estándar:

- El número de alumnos que no se presentan se reduce en un 3,46 %.
- El número de alumnos que suspenden se reduce en un 5,88 %.
- El número de alumnos que obtienen aprobado se reduce en un 10,29 %, pero ello ocurre a cambio de un incremento de los alumnos que obtienen calificaciones situadas en los niveles bueno y excelente; en particular el número de alumnos que obtiene notable se eleva un 8,83 % mientras que el de los que obtiene sobresaliente lo hace en un 10,72 %.

La calificación final media en el grupo de control fue de $5,05 \pm 4,3$ frente a $7,25 \pm 1,36$ para el grupo experimental. Se aplicó la prueba de normalidad de *Shapiro-Wilk* a las muestras numéricas de calificación de ambos grupos. Ninguna resultó normal. Para contrastar que la mejora de los resultados es estadísticamente significativa se utilizó la prueba *U* de *Mann-Whitney*, obteniéndose $U = 253,25$ con $p = 0,033$ y $\alpha = 0,05$, concluyéndose que efectivamente, la mejora observada en las calificaciones puede atribuirse al modelo de tutoría propuesto. La Figura 2 muestra esto en forma de histograma, para la variable de calificación final, segmentada por categorías.

Si atendemos a los parámetros que actualmente se utilizan de forma generalizada para medir la respuesta de los estudiantes al modelo de evaluación, y que

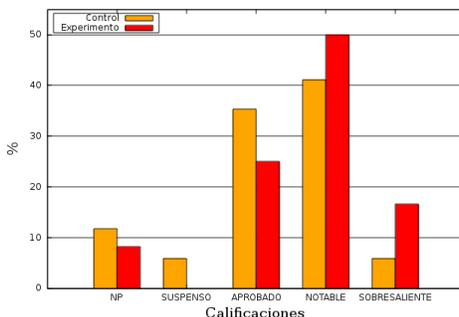


Figura 2. Variación del Rendimiento de los Estudiantes

Cuadro 6. Variación en Tasas de Éxito y Rendimiento

CURSO	ÉXITO	RENDIMIENTO
2015/2016	0,93	0,82
2016/2017	1,0	0,91

son la tasa de éxito y la tasa de rendimiento, vemos (cuadro 6) que también se obtuvo una mejora significativa.

6.3. Escenario Subjetivo

En este caso, y al finalizar el semestre, los estudiantes completaron una encuesta que pretendía medir el nivel subjetivo de satisfacción con la experiencia propuesta, a través de varios ítems. Cada ítem podía ser puntuado con un valor numérico entre 1 para completamente en desacuerdo y 5 para completamente de acuerdo. En caso de no querer responder, el estudiante podía utilizar el valor 0. Los ítems escogidos fueron:

- Ahora comprendo mejor la importancia y la necesidad de la tutoría presencial.
- Mi progreso durante el curso ha sido más seguro y estable.
- Me he sentido más apoyado durante el transcurso del semestre por el profesor.
- El modelo propuesto se adapta bien a la evaluación continua de la asignatura.
- Estoy en general satisfecho con el modelo propuesto.

En este caso, el análisis se efectúa para una muestra de tamaño $n = 11$, dado que el alumno que abandonó la asignatura en la segunda semana, ni participó en el resto del proceso ni tampoco fue objeto de esta encuesta.

La Figura 3 ilustra cómo la práctica totalidad de los alumnos participantes consideran estar de acuerdo o muy de acuerdo a la hora de comprender la importancia y la utilidad del modelo de tutoría presencial, y de acudir a la misma.

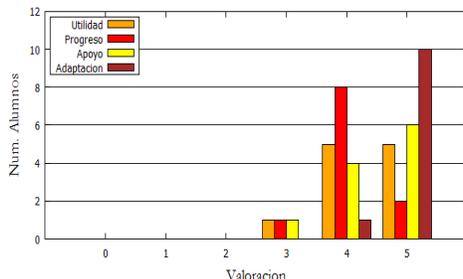


Figura 3. Encuesta de Valoración Subjetiva del Modelo

Como profesores, consideramos que esto por sí mismo, ya es un importante logro del experimento, considerando la actitud que el alumno universitario tiene en general hacia la tutoría. La misma Figura muestra también cómo la práctica totalidad de los alumnos participantes consideran estar satisfechos o muy satisfechos con su progreso en los contenidos de la asignatura. Esto se deriva sin duda, como también se muestra en ella, del hecho de que los estudiantes se han sentido razonablemente apoyados por el profesor, y perciben que no han tenido que desarrollar su trayectoria por la asignatura en solitario; muy al contrario, el continuo contacto con el profesor a demanda de este último, les ha proporcionado un plus de seguridad en el estudio que aseguran ser novedoso para ellos.

Vemos también que los estudiantes consideraron que el modelo de tutoría asistida se adecuaba singularmente bien al modelo de evaluación continua de la asignatura, resultado que no es sorprendente, aunque sí muy gratificante para nosotros como profesores. Es claro que en un contexto evaluatorio donde el afianzamiento continuo y seguido de los contenidos es una garantía para superarlo con éxito, el poder disponer del profesor para que asista al estudiante cuando el primero detecta que el segundo está en problemas ($PS \leq 6$) y sabe dónde están esos problemas, orientando la tutoría a solventarlos, resulta utilísimo para un estudiante que todo lo que tuvo que hacer fue emplear diez minutos de su tiempo en completar un cuestionario. Finalmente, la Figura 4 recoge el grado global de acuerdo de la muestra de estudiantes con la experiencia. El número de estudiantes satisfechos razonablemente con el modelo de tutoría personalizado que se les propone es alto.

7. Conclusiones y Trabajo Futuro

Tras el análisis de los resultados de la experiencia, y en función de los indicadores obtenidos durante la tres fases de evaluación de la misma, hemos llegado a la conclusión de mantener el modelo de tutoría individualizada, adaptada a cada alumno en función de las necesidades detectadas en sus conocimientos mediante el modelo alternativo al uso de *clikers* que proponemos, ya que:

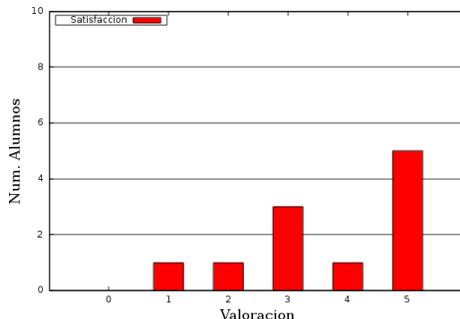


Figura 4. Satisfacción Global Subjetiva

- Se ha demostrado que el modelo de docencia teórica con asistencia de *clikers* puede lograrse mediante la combinación de dispositivos inalámbricos junto con el soporte ofrecido por *Moodle* a través del Campus Virtual ([59]) de la Universidad, a coste cero.
- El modelo propuesto se ha mostrado capaz de identificar las dificultades con que el alumno se encuentra desde el primer momento en su progreso académico, y de hacerles frente para solventarlas con un alto tiempo de respuesta ([28], [36]).
- Como consecuencia de lo anterior, hemos logrado que el alumno sea más consciente de la importancia y utilidad de la tutoría presencial, que el uso de la misma le ofrezca apoyo durante todo el semestre si es necesario, y no solo en momentos puntuales, y que no se haga uso de la misma únicamente cuando faltan escasos días para los exámenes finales, momento en que seguramente, ya es inútil.
- Se ha constatado que el modelo de tutoría basado en identificación de necesidades previas que proponemos presenta importantes sinergias cuando se combina con el modelo de evaluación continua. En el momento actual no disponemos de datos para conocer cómo se comportará con el modelo estándar de evaluación basado únicamente en examen final. Será objetivo en un futuro desarrollar este análisis.
- Se ha logrado movilizar al alumno, aún a su pesar ([32]), para acudir a la tutoría y hacer uso de ella, así como para prepararla ([33]) con carácter previo. Ello deriva de forma directa en un incremento de la dedicación continua a la materia, y en una mejora global del rendimiento de los estudiantes.

Como limitación principal -e importante- del modelo propuesto, encontramos el tamaño de los grupos de estudiantes donde se pretenda aplicar, y que resulta ser una variable crítica. En el caso expuesto, la asignatura *Modelos de Computación* forma parte del perfil de *Computación*, a escoger en los cursos tercero o cuarto del Grado en Ingeniería Informática, y por todo lo anterior con unas tasas relativamente bajas de estudiantes matriculados. En materias con una matrícula

de cientos de alumnos, como ocurre en las asignaturas de los primeros cursos de grado, no creemos que el modelo pueda ser aplicado tal como se ha descrito aquí, aunque paradójicamente es donde probablemente sería más adecuado, dada la escasa madurez como universitarios de los estudiantes que ingresan en la Universidad. Quizás el modelo propuesto podría adaptarse a estas circunstancias. En grupos de estudiantes de unos cuarenta-cincuenta alumnos, sí creemos que el modelo propuesto es directamente aplicable, lo cuál lo hace singularmente útil para su implementación bien en asignaturas de los últimos años de grado, como ha sido nuestro caso, bien en las de máster.

Las líneas de trabajo futuro que tenemos interés en desarrollar son las siguientes:

- Incrementar la fiabilidad estadística de la bondad del modelo que proponemos, mediante un estudio multicéntrico, multimateria y multigrado, aumentando el tamaño de la muestra a un valor aproximado de $n = 400$.
- Establecer fehacientemente la viabilidad del modelo propuesto en asignaturas con un número de alumnos menor o igual cincuenta.
- Determinar si es posible aplicar el modelo propuesto en asignaturas con una alta tasa de alumnos matriculados ([56]); en caso negativo, estudiar qué posibles modificaciones admite el modelo para que pueda ser adaptado en asignaturas con esta tipología.
- Determinar si la mejora en el rendimiento de nuestros estudiantes bajo modelos de evaluación continua, se mantiene también cuando se utilizan modelos de evaluación clásicos ([75]), basados en una única prueba final.

Referencias

1. Ahlfeldt, S., Mehta, S., & Sellnow, T. (2005). Measurement and analysis of student engagement in university classes where varying levels of PBL methods of instruction are in use. *Higher Education Research and Development*, 24(1), 5–20.
2. Anderson, T. (2003). Modes of interaction in distance education: recent developments and research questions. In M. G. Moore, & W. G. Anderson (Eds.), *Handbook of distance education* (pp. 129–144). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
3. Angeli, C., Valanides, N., & Bonk, C. J. (2003). Communication in a web-based conferencing system: the quality of computer-mediated interaction. *British Journal of Educational Technology*, 34(1), 31–43.
4. Blasco-Arcas, L., Buil, I., Hernández-Ortega, B. & Sese, F.J. (2013). Using clickers in class. The role of interactivity, active collaborative learning and engagement in learning performance. *Computers & Education*, 62,102-110.
5. Banks, D. A. (2006). Reflections on the use of ARS with small groups. In D. A. Banks (Ed.), *Audience response systems in higher education* (pp. 373–386). Hershey, PA: Information Science Publishing.
6. Bannan-Ritland, B. (2002). Computer-mediated communication, e-learning, and interactivity: a review of the research. *Quarterly Review of Distance Education*, 3(2), 161–169.

7. Beatty, I. (2004). Transforming student learning with classroom communication systems. Boulder, Colo: EDUCASE Center for Applied Research, available. <http://www.educase.edu/LibraryDetailPage/666?IDERB04033>.
8. Beatty, I. D., Gerace, W. J., Leonard, W. J., & Dufresne, R. J. (2006). Designing effective questions for classroom response system teaching. *American Journal of Physics*, 74(1), 31–39.
9. Beekes, W. (2006). The ‘millionaire’ method for encouraging participation. *Active Learning in Higher Education*, 7, 25–36.
10. Bergtrom, G. (2006). Clicker sets as learning objects. *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects*, 2, Available in <http://ijklo.org/Volume2/v2p105-110Bergtrom.pdf>.
11. Brewer, C. A. (2004). Near real-time assessment of student learning and understanding in biology courses. *Bioscience*, 54(11), 1034–1039.
12. Bullock, D. W., LaBella, V. P., Clingan, T., Ding, Z., Stewart, G., & Thibado, P. M. (2002). Enhancing the student-instructor interaction frequency. *The Physics Teacher*, 40, 535–541.
13. Caldwell, J. E. (2007). Clickers in the large classroom: current research and best-practice tips. *CBE Life Sciences Education*, 6(1), 9–20.
14. Carnaghan, C., & Webb, A. (2007). Investigating the effects of group response systems in student satisfaction, learning, and engagement in accounting education. *Issues in Accounting Education*, 22(3), 391–409.
15. Capel, M., Tomeu, A. & Salguero A. (2017). Teaching concurrent and parallel programming by patterns: An interactive ICT approach. *Journal of Parallel and Distributed Computing* (in press). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpdc.2017.01.010>
16. Chickering, A., & Ehrmann, S. C. (1996). Implementing the seven principles: technology as lever. *AAHE Bulletin*3–6, Available in <http://www.tltgroup.org/programs/seven.html>. October.
17. Chou, C. (2003). Interactivity and interactive functions in web-based learning systems: a technical framework for designers. *British Journal of Educational Technology*, 34(3), 265–279.
18. Cotner, S., Fall, B., Wick, S., Walker, J., & Baepler, P. (2008). Instant feedback assessment methods: can we improve engagement, enjoyment, and preparation for exams in large-enrollment biology courses? *Journal of Science Education and Technology*, 17, 437–443.
19. Crossgrove, K. Curran Using clickers in non-majors and majors-level biology courses: student opinion, learning and long-term retention of course material *CBE-Life Sciences Education*, 7 (2008), pp. 146–154.
20. Crouch, C. H., & Mazur, E. (2001). Peer instruction: ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9), 970–977.
21. R. D’Inverno, H. Davis, S. White. Using a personal response system for promoting student interaction. *Teaching Mathematics and Its Applications*, 22 (2003), pp. 163–169.
22. Draper, S. W., Cargill, J., & Cutts, Q. (2002). Electronically enhanced classroom interaction. *Australian Journal of Educational Technology* 18, 13–23. Available in <http://www.psy.gla.ac.uk/~steve/ilig/handsets.html>.
23. Draper, S. W., & Brown, M. I. (2004). Increasing interactivity in lectures using an electronic voting system. *Journal of Computer Assisted Learning*, 20, 81–94.
24. Draper, S. W., Cargill, J., & Cutts, Q. (2002). Electronically enhanced classroom interaction. *Australasian Journal of Educational Technology*, 18, 13–23.

25. Elliot, C. (2003). Using a personal system in economics teaching. *International Review of Economics Education*, 1(1), Available in <http://www.economicsnetwork.ac.uk/iree/i1/elliott.htm>.
26. Erickson, J., & Siau, K. (2003). E-ducation. *Communications of the ACM*, 46(9), 134–140.
27. Fies, C., & Marshall, J. (2006). Classroom response systems: a review of the literature. *Journal of Science Education and Technology*, 15(1), 101–109.
28. S. Freeman, E. O'Connor, J.W. Parks, M. Cunningham, D. Hurley, D. Haak, et al. Prescribed active learning increases performance in introductory biology *CBE-Life Sciences Education*, 6 (2007), pp. 132–139
29. Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C., & Paris, A. H. (2004). School engagement: potential of the concept, state of the evidence. *Review of Educational Research*, 74, 59–108.
30. Gallini, S. M., & Moely, B. E. (2003). Service-learning and engagement, academic challenge and retention. *Michigan Journal of Community Service Learning* 5–14, Fall.
31. Garrison, D. R., Anderson, T., & Archer, W. (2001). Critical thinking, cognitive presence, and computer conferencing in distance education. *American Journal of Distance Education*, 15(1), 7–23.
32. Guthrie, R. W., & Carlin, A. (2004). Waking the dead: using interactive technology to engage passive listeners in the classroom. In *Proceedings of the AMCIS*, paper 358. New York: August.
33. Guthrie, J. T., & Wigfield, A. (2000). Engagement and motivation in reading. In M. Kamil, & P. Mosenthal (Eds.). *Handbook of reading research*, vol. 3 (pp. 403–422). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
34. Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2006). *Multivariate data analysis* (6th ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
35. Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: a six-thousands student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, 64–74.
36. Haseman, W. D., Polatoglu, V. N., & Ramamurthy, K. (2002). An empirical investigation of the influences of the degree of interactivity of user-outcomes in a multimedia environment. *Information Resources Management Journal*, 15(2), 31–48.
37. Higgins, R., Hartley, P., & Skelton, A. (2002). The conscientious consumer; re-considering the role of assessment feedback in student learning. *Studies in Higher Education*, 27(1), 53–64.
38. Hiltz, S. R., Coppola, N., Rotter, N., & Turoff, M. (2000). Measuring the importance of collaborative learning for the effectiveness of ALN: a multi-measure, multi-method approach. *Journal of Asynchronous Learning Networks*, 4(2), 103–125.
39. Homme, J., Asay, G., & Morgenstern, B. (2004). Utilisation of an audience response system. *Medical Education*, 38(5), 575.
40. Hoon Han & J. Finkelstein, A. (2013). Understanding the effects of professors' pedagogical development with clicker assessment and feedback technologies and the impact on students' engagement and learning in higher education. *Computers & Education* 65. 64-76
41. Hu, J., Bertol, P., Hamilton, M., White, G., Duff, A., & Cutts, Q. (2006). Wireless interactive teaching by using key-pad ARS. In D. A. Banks (Ed.), *Audience*

- response systems in higher education (pp. 209–221). Hershey, PA: Information Science Publishing.
42. Kay, R.-H., & LeSage, A. (2009). Examining the benefits and challenges of using audience response systems: a review of the literature. *Computers & Education*, 53, 819–827.
 43. Kennedy, G., & Cuts, Q. (2005). The association between students use and electronic voting system and their learning outcomes. *Journal of Computer Assisted Learning*, 21, 260–268.
 44. Kennedy, D., Hyland, A., & Ryan, N. (2006). Writing and using learning outcomes: A practical guide. In *The Bologna handbook*, Available in <http://www.bologna.msmt.cz/files/learning-outcomes.pdf>.
 45. Kenwright, K. (2009). Clickers in the classroom. *TechTrends*, 53(3), 74–77.
 46. Khan, B. H. (2000). Discussion of resources and attributes of the web for the creation of meaningful learning environments. *Cyber Psychology & Behavior*, 3(1), 17–23.
 47. Knight, J. K., & Wood, W. B. (2005). Teaching more by lecturing less. *Cell Biology Education*, 4(4), 298–310.
 48. Kreijns, K., Kirschner, P. A., & Jochems, W. (2003). Identifying the pitfalls for social interaction in computer supported collaborative learning environment: a review of the research. *Computers in Human Behavior*, 19(3), 335–353.
 49. Kryder, L. G. (1999). Integrating computer literacy: why and what can be done. *Business Communication Quarterly*, 62(2), 81–86.
 50. Kuh, G. D. (2003). What we're learning about student engagement from NSSE. *Change*, 35(2), 24–32.
 51. Lantz, M. E. (2010). The use of clickers in the classroom: teaching innovation or merely an amusing novelty? *Computers in Human Behavior*, 26, 556–561.
 52. Liu, Y. (2003). Developing a scale to measure the interactivity of websites. *Journal of Advertising Research*, 43(3), 207–216.
 53. Liu, T., Liang, J., Wang, H., Chan, T., & Wei, L. (2003). Embedding educlick in classroom to enhance interaction. In *Proceedings international conference computers in education (ICCE)* (pp. 117–125). Hong Kong, China.
 54. MacGeorge, E. L., Homan, S. R., Dunning, J. B., Jr., Elmore, D., Bodie, G. D., Evans, E., et al. (2008). The influence of learning characteristics on evaluation of audience response technology. *Journal of Computing in Higher Education*, 19, 25–46.
 55. Marks, H. M. (2000). Student engagement in instructional activity: patterns in the elementary, middle, and high school years. *American Educational Research Journal*, 37(1), 153–184.
 56. Mayer, R. E., Stull, A., DeLeeuw, K., Almeroth, K., Bimber, B., Chun, D., et al. (2009). Clickers in collage classrooms: fostering learning with questioning methods in large lecture classes. *Contemporary Educational Psychology*, 34, 51–57.
 57. Michaelson, L. K., Knight, A. B., & Fink, L. D. (2004). *Team-based learning: A transforming use of small groups in college teaching*. Sterling, VA: Stylus.
 58. Nicol, D., & Boyle, J. (2003). Peer instruction versus class-wide discussion in large classes: a comparison of two interaction methods in the wired classroom. *Studies of Higher Education*, 28, 457–473.
 59. Oncu, S., & Cakir, H. (2011). Research in online learning environments: priorities and methodologies. *Computers & Education*, 57, 1098–1108.
 60. Panitz, T. (1996). A definition of collaborative versus cooperative learning. *Deliberations*, Available in <http://www.londonmet.ac.uk/deliberations/collaborative-learning/panitzpaper.cfm>.

61. Pratton, J., & Hales, L. (1986). The effects of active participation on student learning. *Journal of Educational Research*, 79, 210–215.
62. Prince, M. (2004). Does active learning work? a review of the research. *Journal of Engineering Education*, 93, 223–231.
63. Resta, P., & Laferrière, T. (2007). Technology in support of collaborative learning. *Education Psychology Review*, 19, 65–83.
64. Ribbens, E. (2007). Why I like personal response systems. *Journal of College Science Teaching*, 37(2), 60–62.
65. Roblyer, M. D., & Wiencke, W. R. (2003). Design and use of a rubric to assess and encourage interactive qualities in distance courses. *American Journal of Distance Education*, 17(2), 77–98.
66. Ryan, A. M. (2000). Peer groups as a context for the socialization of adolescents' motivation, engagement, and achievement in school. *Educational Psychologist*, 35, 101–111.
67. Shernoff, D. J., & Hoogstra, L. (2001). Continuing motivation beyond the high school classroom. *New Directions in Child and Adolescent Development*, 93, 73–87.
68. Siau, K., Sheng, H., & Nah, F. F.-H. (2006). Use of classroom response system to enhance classroom interactivity. *IEEE Transactions on Education*, 49(3), 398–403.
69. Stipek, D. (2002). Good instruction is motivating. In A. Wigfield, & J. Eccles (Eds.), *Development of achievement motivation*. San Diego, CA: Academic Press.
70. Stowell, J. R., & Nelson, J. M. (2007). Benefits of electronic audience response systems on student participation, learning and emotion. *Teaching of Psychology*, 34, 253–258.
71. Thalheimer, W. (2003). *The learning benefits of questions (white papers)*. Somerville, MA: Work Learning Research.
72. Trees, A. R., & Jackson, M. H. (2007). The learning environment in clicker classrooms: student processes of learning and involvement in large university-level courses using student response systems. *Learning, Media and Technology*, 32, 21–40.
73. Wit, E. (2003). Who wants to be. the use of a personal response system in statistics teaching. *MSOR Connections*, 3, 14–20.
74. W.B. Wood. Clickers: A teaching gimmick that works. *Developmental Cell*, 7 (2004), pp. 796–798
75. Yoder, J. D., & Hochevar, C. M. (2005). Encouraging active learning can improve students' performance on examinations. *Teaching of Psychology*, 32, 91–95.
76. Yourstone, S. A., Krave, H. S., & Albaum, G. (2008). Classroom questioning with immediate electronic response: do clickers improve learning? *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 6(1), 75–88.

Nuevas arquitecturas hardware de procesamiento de alto rendimiento para aprendizaje profundo

Antonio J. Rivera, Francisco Charte, Macarena Espinilla, and María D. Pérez-Godoy

Departamento de Informática, Universidad de Jaén.
{arivera,fcharte,mestevez,lperez}@ujaen.es

Resumen El diseño y fabricación de hardware es costoso, tanto en tiempo como en inversión económica, razón por la que los circuitos integrados se fabrican siempre en gran volumen, para aprovechar la economía de escala. Por esa razón la mayoría de procesadores fabricados son de propósito general, ampliando así su campo de aplicaciones. En los últimos años, sin embargo, cada vez se fabrican más procesadores para aplicaciones específicas, entre ellos aquellos destinados a acelerar el trabajo con redes neuronales profundas. Este artículo introduce la necesidad de este tipo de hardware especializado, describiendo su finalidad, funcionamiento e implementaciones actuales.

Palabras clave: procesador, arquitectura de computadores, aprendizaje profundo, TPU.

Abstract The design and manufacture of hardware is costly, both in terms of time and economic investment, which is why integrated circuits are always manufactured in large volumes, to take advantage of economies of scale. For this reason, the majority of processors manufactured are general purpose, thus broadening their scope of application. In recent years, however, more and more processors have been manufactured for specific applications, including those designed to accelerate work with deep neural networks. This article introduces the need for this type of specialized hardware, describing its purpose, operation and current implementations.

Keywords: processor, computer architecture, deep learning, TPU.

1. Introducción

Durante las últimas décadas el microprocesador, un circuito integrado de propósito general programable por software que básicamente implementa una CPU (*Central Processing Unit*) [1], ha sido el centro de una gran parte de los desarrollos dirigidos a tareas de procesamiento de datos, indistintamente de aspectos como el volumen de información a tratar o la complejidad de los algoritmos a aplicar. El microprocesador, en sus diversas variantes, es asimismo el núcleo de microcontroladores [2], muy usados en sistemas empotrados de tipo industrial, y los SoC (*System-on-Chip*) [3], corazón de dispositivos IoT (*Internet-of-Things*) [4], teléfonos móviles y muchos otros equipos digitales.

La demanda de potencia de procesamiento se ha incrementado de forma muy notable a lo largo de los últimos diez años, siendo una de las razones principales la aparición de nuevos métodos de aprendizaje automático, especialmente los basados en técnicas de aprendizaje profundo o *deep learning* (DL) [5]. Son estos métodos los que hacen posible que nuestros actuales dispositivos móviles puedan procesar instrucciones expresadas en lenguaje natural, facilitando la interacción con la personas, o sean capaces de reconocer caras, simplificando el proceso de identificación de acceso al propio dispositivo.

Satisfacer dicha demanda de potencia no es posible sencillamente incrementando la frecuencia de reloj que rige el funcionamiento de una CPU clásica. El incremento en el nivel de paralelismo es un factor clave, así como la especialización de las unidades de ejecución a la hora de tratar ciertos tipos de datos. Los actuales microprocesadores de alta gama incorporan decenas de núcleos de ejecución, actuando cada uno de ellos como una CPU de propósito general. Además, dichos núcleos cuentan con instrucciones específicas de tipo SIMD (*Simple Instruction Multiple Data*) [6], las distintas versiones de MMX (*MultiMedia eXtensions*), SSE (*Streaming SIMD Extensions*) y AVX (*Advanced Vector eXtensions*), que aceleran la computación con tipos de datos específicos.

A pesar de los avances en la arquitectura de los microprocesadores, son muchos los escenarios en que la potencia de procesamiento que ofrecen resulta insuficiente. Es la razón principal de que las GPU (*Graphics Processing Units*) [7], inicialmente diseñadas para el tratamiento de texturas, cálculo de transformaciones sobre los vértices de geometrías y procesamiento de millones de píxeles, lleven años usándose para acelerar la creación de los modelos de DL. A diferencia de las CPU, con unas pocas decenas de núcleos de procesamiento [8] en la gama más alta (familia *Intel Xeon*¹), las GPU cuentan con varios miles de núcleos. Estos no son de propósito general como los de una CPU, sino especializados en realizar unas pocas operaciones con tipos de datos fijos. No obstante, esto es lo que se necesita al trabajar con DL, de ahí que el incremento de rendimiento que se experimenta al implementarlos sobre una GPU es muy considerable respecto a una CPU.

El uso de GPU para generar modelos de DL ha influido de manera importante en las estrategias de los propios fabricantes de hardware. Quizá el mayor exponente sea Nvidia, cuyos últimos productos, como las familias Pascal y Volta [9], y su máquina de marketing van específicamente dirigidos a potenciar su uso en el campo del aprendizaje profundo. Paralelamente varios de los más importantes protagonistas de dicho campo, incluyendo a Google, Intel o Microsoft, exploran el desarrollo de nuevas arquitecturas, alternativas a las de las CPU y GPU, diseñadas a medida para incrementar el rendimiento de sus soluciones de reconocimiento de voz, búsquedas, identificación de objetos en imágenes, etc. Son esos nuevos desarrollos, que están dando como fruto circuitos integrados específicos para inteligencia artificial o *IA chips*, los que nos interesan en este artículo.

La estructura del presente artículo es la siguiente: en la sección 2 se introducen los fundamentos de las técnicas de aprendizaje profundo, a fin de definir el origen de las nuevas necesidades surgidas en los últimos años. La sección 3 describe cómo se

¹ La familia de coprocesadores Xeon Phi, con núcleos x86 pero basada en un diseño GPU de Intel, ofrece un mayor número de núcleos que las CPU clásicas y contempla el desarrollo de soluciones con un enfoque similar.

han cubierto dichas necesidades hasta ahora, antes de la aparición de las arquitecturas hardware enumeradas en la sección 4. Este trabajo termina con algunas reflexiones recogidas en la sección 5.

2. Aprendizaje profundo y cálculo tensorial

Actualmente los sistemas más avanzados para el tratamiento de lenguaje natural, identificación de patrones en imágenes, traducción automatizada y reconocimiento de personas, por mencionar algunas de las aplicaciones que estamos acostumbrados a usar en nuestros dispositivos, están principalmente basadas en redes neuronales. Para ser más específicos, se recurre a distintos modelos de lo que conoce genéricamente como aprendizaje profundo o DL, entre ellos las *Deep Belief Networks* o DBN [10], las redes neuronales convolucionales (CNN) [11], los *auto-encoders* [12] o las redes *Long Short-Term Memory* (LSTM) [13]. Los fundamentos de DL surgieron [14] hace más de 30 años, pero no fue hasta más de dos décadas después cuando se propusieron los primeros algoritmos de entrenamiento [10] que hicieron que su uso resultase práctico.

2.1. Cómo funciona una red neuronal profunda

En contraposición a las redes neuronales tradicionales (véase la Figura 1), en las que habitualmente existe una capa de entrada (unidades en negro), una capa oculta o interna (unidades en blanco) y una capa de salida² (unidades en gris), las redes neuronales profundas (Figura 2) suelen contar con múltiples capas ocultas. En ciertas tareas, como es el reconocimiento de patrones en imágenes, el número de capas suele ser de varias decenas, llegándose incluso a superar el centenar [15]. Como es obvio, a mayor número de capas más parámetros habrá que ajustar en la red neuronal para que su funcionamiento sea apropiado.

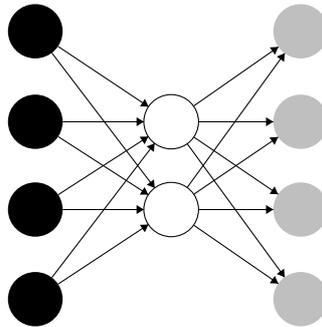


Figura 1. Red neuronal clásica, con capa de entrada, oculta y de salida.

² El número de unidades/neuronas en cada capa puede diferir según el tipo de red, no siendo obligatorio que el número de salidas y de entradas coincidan.

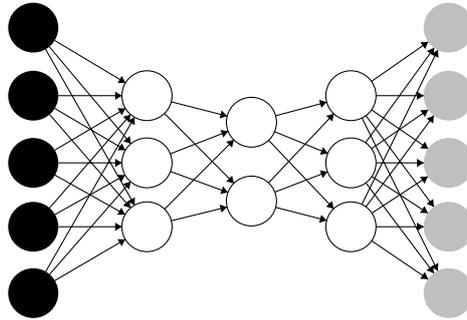


Figura 2. Red neuronal profunda con tres capas ocultas.

En la mayoría de los casos una red neuronal se emplea como herramienta predictiva, de forma que, a partir de unos valores de entrada conocidos, el vector de atributos, se obtienen uno o más resultados, el vector de salidas. Sin entrar en detalles que quedarían fuera del ámbito de este artículo, el funcionamiento básico esencial sería el descrito a continuación.

Para transformar las entradas en las salidas se efectúan operaciones sobre los valores introducidos en la primera capa, a medida que dichos valores van viajando por la red de izquierda a derecha:

1. Cada valor original de entrada es enviado a cada neurona en la capa oculta, previa multiplicación por un peso que está asociado a la conexión entre neuronas.
2. Todas las entradas que recibe cada neurona de la capa oculta se agregan.
3. Se aplica una función de activación al resultado de la agregación anterior, obteniéndose un valor de salida para cada neurona.
4. La salida de la neurona en la capa N de la red se envía a las neuronas de la capa $N+1$, hasta alcanzar la de salida.

Los pasos fundamentales de este algoritmo, conocido como *feed-forward propagation*³, pueden ser expresados de forma matricial. Llamando X al vector de entradas, compuesto por valores x_1, \dots, x_f siendo f el número de atributos (neuronas en la capa de entrada); W a la matriz de pesos, con valores $w_{1,1}, w_{1,2}, \dots, w_{1,f}, \dots, w_{m,f}$ siendo m el número de neuronas en la capa oculta, y h la función de activación de las unidades en dicha capa, se obtendría la salida Y de esa capa según se muestra en la Eq. 1. La función h se aplicaría sobre la matriz resultante componente a componente. Esto es generalizable para una red con L capas, obteniéndose las salidas para la capa l a partir de aplicar iterativamente el proceso anterior a la capa $l - 1$.

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}, W = \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{2,1} \\ w_{1,2} & w_{2,2} \\ w_{1,3} & w_{2,3} \end{bmatrix}, Y = h(W^T X) \quad (1)$$

³ Por simplicidad no se ha incluido aquí el vector de sesgos (*bias*) asociado a cada capa de la red a excepción de la entrada, ni se ha entrado tampoco a describir el algoritmo de propagación hacia atrás (*backpropagation*) encargado de calcular el error cometido y ajustar la matriz de pesos.

El cálculo anterior habría que realizarlo L veces, tantas como capas tenga la red, por cada una de las N muestras de datos de que se disponga. Además, esas N muestras habitualmente se entregarán al algoritmo múltiples veces (*epochs*) hasta que la red se estabilice. Esto implica realizar miles o millones de multiplicaciones de matrices. El tiempo necesario para ello dependerá lógicamente del tamaño de estas, pero de partida este es un tipo de operación muy exigente en cuanto a demanda de potencia computacional.

2.2. Redes neuronales y tipos de datos complejos

Las redes neuronales tradicionales, como el conocido MLP (*Multi-Layer Perceptron*), se han venido aplicando a conjuntos de datos en los que cada muestra está compuesta por unos pocos valores, habitualmente de tipo real. En contraposición, las redes neuronales profundas se están empleando para procesar tipos de datos de mayor complejidad, tales como imágenes, audio o vídeo. Este hecho tiene una influencia esencial en la potencia de procesamiento necesaria para ajustar dichas redes, ya que se opera con estructuras de datos de entrada mucho más grandes.

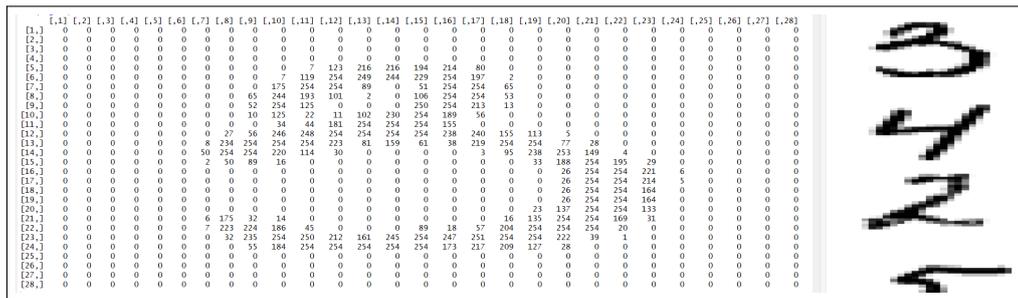


Figura 3. Algunos dígitos de MNIST y la matriz de 28x28 valores enteros que definen el primero de ellos.

Una imagen en blanco y negro puede codificarse como un vector de valores binarios. Análogamente, las imágenes en escalas de grises pueden representarse como vectores de valores en un cierto intervalo. El conocido conjunto de datos MNIST [16], compuesto de 70000 imágenes de 28×28 píxeles (véase la Figura 3) correspondientes a dígitos manuscritos, es procesado habitualmente como un vector de 784 valores enteros entre 0 y 255 más el atributo de clase. Dependiendo del tipo de red neuronal con la que vaya a tratarse esta información, será posible tomarla como un vector de 784 valores (MLP, autoencoders, etc.) o bien como una matriz bidimensional de 28×28 elementos (redes tipo CNN).

La mayor parte de los conjuntos de datos no están compuestos de imágenes en blanco y negro o en escalas de grises, sino que se generan a partir de dispositivos de captura que emplean tres o más canales a fin de obtener imágenes en color y multi-

espectrales. Lo más habitual es que los canales sean tres⁴: R, G y B, tal y como se muestra en la Figura 4. Cada imagen, por tanto, se representa con tres dimensiones: dos permiten direccionar un píxel cualquiera y la tercera selecciona el canal.

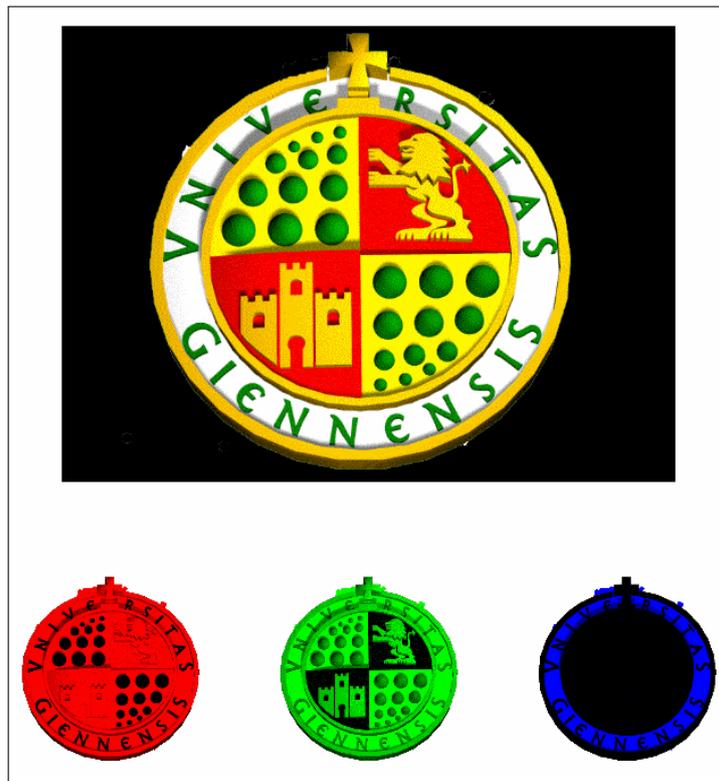


Figura 4. Imagen en color y su descomposición en canales R, G y B.

El siguiente nivel, en cuanto a complejidad de los datos se refiere, sería el procesamiento automatizado de vídeo, por regla general con el objetivo de detectar la presencia de ciertos objetos. Se trata de una secuencia de imágenes, cada una de las cuales se compone de varios canales formados por píxeles en una distribución bidimensional. Se precisa, por tanto, una dimensión adicional, alcanzando un total de cuatro.

Las operaciones descritas en la sección previa, mediante las cuales la información de origen va procesándose en la red neuronal, han de adaptarse convenientemente para trabajar no ya con un vector más o menos grande de valores, sino con estructuras de datos considerablemente más complejas.

⁴ Ciertos formatos de imagen, como el estándar PNG, suelen incluir un cuarto canal conocido como *alpha*. Su finalidad es facilitar la información de transparencia para cada píxel de la imagen.

2.3. Qué es un tensor y para qué sirve

Actualmente existen múltiples *frameworks* que ofrecen a desarrolladores e investigadores las herramientas necesarias para crear todo tipo de redes profundas. Seguramente el más conocido sea TensorFlow [17], creado por Google. En esta y otras librerías de servicios se emplea recurrentemente el término *tensor*, haciéndose referencia al cálculo tensorial como el procedimiento para aplicar a datos complejos, como los descritos en la sección previa, las operaciones necesarias para conseguir la propagación hacia adelante en la red neuronal y posterior vuelta atrás para el ajuste de pesos.

En física a los tensores suele otorgárseles una interpretación geométrica. Un vector, compuesto de una magnitud y una dirección, es un tensor de orden 1. En un espacio tridimensional dicho tensor podría tomar la forma (M_x, N_y, O_z) , siendo x , y y z los ejes de coordenadas y M , N y O la magnitud en cada eje. En este caso tenemos $3^1 = 3$ componentes. Si dicho vector denota la fuerza que actúa sobre un plano, se precisará una componente adicional para establecer la normal a dicha superficie, obteniéndose un tensor de orden 2. Este tendría $3^2 = 9$ componentes (véase la Figura 5), en lugar de los tres previos. Las magnitudes se asociarían a las 9 combinaciones posibles de ejes: xx' , xy' , xz' , yx' , yy' , yz' , zx' , zy' , zz' , por lo que el resultado se dispone habitualmente en forma de matriz bidimensional. Existen situaciones de mayor complejidad, en las que el tensor sería de un orden superior a 2.

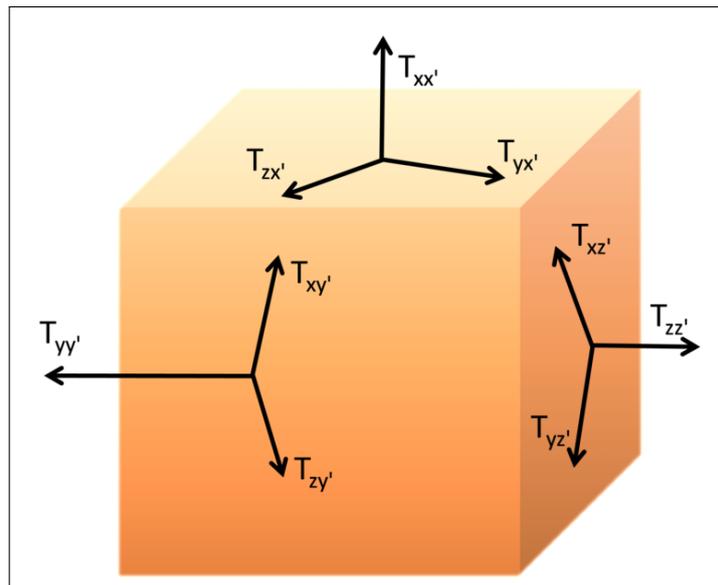


Figura 5. Representación geométrica de un tensor de orden 2.

La definición matemática de tensor no es trivial [18], estando implicados aspectos como los espacios vectoriales, espacios duales, aplicaciones multilineales, etc. El álgebra tensorial, aplicable a este tipo de objetos, básicamente extiende los conceptos y métodos

empleados en el álgebra lineal clásica. Esto permite actuar sobre tensores mediante operaciones como el producto, habitual entre matrices, pero extendiéndolas a un mayor número de dimensiones.

Para los desarrolladores de software un tensor es una estructura de datos, como lo son los vectores o las matrices. Habitualmente se habla de tensor cuando el número de dimensiones es superior a 2. En este contexto, el orden de un tensor haría referencia al número de índices que son necesarios para acceder a un componente de esa estructura de datos. Así, una referencia del tipo `logo[x][y][p]`, usando tres índices, servirían para acceder a cualquier píxel de una imagen mediante sus coordenadas y el plano de color. Lo interesante es que las descomposiciones habituales en álgebra tensorial permiten trabajar sobre estas estructuras de datos de una forma más eficiente, acelerando ciertas operaciones tal y como se describe en [19].

3. Paralelismo en CPU y GPU

Las operaciones sobre matrices mediante álgebra lineal, especialmente cuando son de gran tamaño, demandan una gran potencia de procesamiento. Suponiendo que tenemos una matriz $A_{m \times n}$ y otra $B_{n \times p}$, la multiplicación de ambas tendría una complejidad computacional de $\mathcal{O}(mnp)$ que, en el caso de $m = n = p$ sería $\mathcal{O}(n^3)$ o complejidad cúbica.

Suponiendo que tuviésemos como entrada una pequeña imagen monocroma de 100×100 píxeles, su multiplicación con un filtro de similar tamaño precisaría 1 000 000 de operaciones simples. Dicho trabajo hay que realizarlo multitud de veces, dependiendo del número de capas y unidades por capa de la red neuronal, por lo que estaríamos hablando de centenares o miles de millones de operaciones por cada muestra de datos. En cuanto incrementemos el tamaño de las imágenes y su complejidad, pasando a trabajar en color, con imágenes multi-espectrales o con vídeo, estaríamos hablando de varios órdenes de magnitud por encima. Al recurrir al álgebra tensorial es posible acelerar tareas como la multiplicación de matrices, pero aun así estaríamos afrontando una cantidad enorme de operaciones.

Por regla general una red profunda precisa de muchos miles o incluso millones de muestras de datos para generar un modelo estable. Habitualmente cada muestra es facilitada a la red múltiples veces. Estos son factores multiplicativos que se agregan a las operaciones antes descritas. En conclusión, es fácil darse cuenta de que el entrenamiento de una de estas redes exige una gran potencia computacional y, en consecuencia, mucho tiempo de procesamiento. Esto es especialmente cierto si el algoritmo se ejecuta en una arquitectura hardware que no está específicamente diseñada para ofrecer un alto nivel de paralelismo, como es el caso de las CPU.

A pesar de que el nivel de paralelismo de las CPU se ha ido incrementando paulatinamente [8], primero con técnicas de segmentación del cauce y la incorporación de múltiples unidades funcionales [20], después mediante la incorporación de conjuntos de instrucciones SIMD [6] y, finalmente, introduciendo múltiples núcleos o *cores* en cada CPU, lo cierto es que la arquitectura clásica de una CPU, diseñada como un procesador de propósito general que busca una eficiencia homogénea en todo tipo de aplicaciones, no es la más adecuada para afrontar algoritmos de entrenamiento de redes profundas.

Por ejemplo, el tiempo necesario para procesar por completo una imagen de 224×224 píxeles, incluyendo la propagación hacia adelante y hacia atrás, con ResNET-200 [21], una red profunda con 200 capas, es de más de 22 segundos en una CPU Dual Xeon E5-2630⁵. El entrenamiento de un conjunto de datos completo, hasta obtener la red preparada para predecir, en una configuración así podría tardar semanas.

La arquitectura de una GPU moderna [7] es completamente diferente a la de una CPU. Un microprocesador dedica una pequeña fracción de su circuitería a componentes de cálculo, la ALU (*Arithmetic Logic Unit*). Esencialmente hay una ALU, con un reducido número de unidades funcionales, por cada núcleo o *core*. En contraposición, gran parte de la circuitería de una GPU la conforman los miles de núcleos de que consta (bloques verdes en la Figura 6). Cada uno de ellos es mucho más simple que un núcleo de CPU, al estar especializado en un reducido número de operaciones con tipos de datos fijos, pero en conjunto ofrecen un alto nivel de paralelismo. A esto se suma que el tamaño del circuito integrado, y por tanto número de componentes, de una GPU suele ser mucho mayor⁶ que el de una CPU.

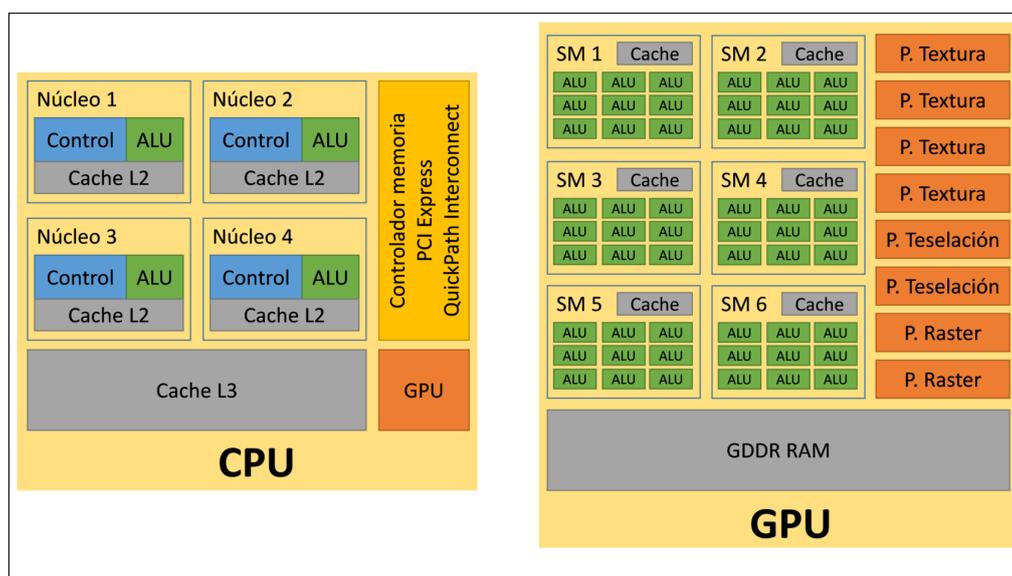


Figura 6. Esquema de bloques de una CPU y una GPU. En color verde puede apreciarse la cantidad de circuitería dedicada a la realización de cálculos, mucho mayor en la GPU.

⁵ Una configuración de 2 procesadores, cada uno de los cuales cuenta con 8 núcleos capaces de ejecutar 2 hilos en paralelo, lo que hace un total de 32 hilos concurrentes.

⁶ Una CPU de 2017 de alta gama cuenta típicamente con 8 núcleos, tiene una superficie de en torno a 200 mm^2 y unos 5 000 millones de transistores, mientras que una GPU del mismo año supera los 3 000 núcleos, 800 mm^2 y 20 000 millones de transistores.

El uso de GPU para ejecutar modelos de aprendizaje profundo se ha incrementado notablemente a lo largo de la última década y es, en parte, la técnica que ha hecho posible la existencia de muchos servicios que de otra forma habrían tardado mucho más en estar disponibles. La multiplicación de matrices es altamente paralelizable, permitiendo reducir los 22 segundos antes indicados para una CPU a entre 0.2 y 0.5 segundos, dependiendo de la GPU usada. Una sola GPU tiene capacidad, en este contexto, para realizar el trabajo de decenas o cientos de CPU, lo cual también contribuye a abaratar el hardware necesario para afrontar un cierto problema.

4. Tensor Processing Unit, la arquitectura para DL

A pesar de la impresionante mejora, en cuanto a rendimiento, que supone el uso de GPU en lugar de CPU para abordar el entrenamiento de redes profundas, una GPU no está específicamente diseñada para esta tarea. En la misma coexisten los núcleos básicos de cálculo, equivalentes a una ALU de CPU simplificada y que son los que usan los *frameworks* tipo TensorFlow, con otras unidades especializadas, pensadas para operar con texturas, vértices, etc. Estas ocupan espacio en el circuito integrado y consumen energía.

Una unidad de procesamiento de tensores (TPU) es un circuito integrado diseñado específicamente para llevar a cabo operaciones de álgebra tensorial, en especial multiplicaciones. Esta idea surgió en Google hace más de una década, aunque no fue hasta 2016 cuando dicha empresa anunció la primera versión de TPU. En los últimos dos años no solo Google ha perfeccionado su diseño, con dos nuevas versiones de TPU, sino que muchos otros fabricantes han diseñado sus propios *chips* específicos para Inteligencia artificial. La razón para ello es la sustancial ganancia en rendimiento [22] respecto al uso de GPU, al tiempo que se reduce el consumo energético.

4.1. ¿Qué es una TPU?

Como se ha indicado antes, una TPU es una unidad de cómputo especializada en operar con tensores. Se trata, por tanto, de un circuito tipo ASIC (*Application-Specific Integrated Circuit*). Reduciéndolo a una frase, podríamos decir que una TPU es un circuito con gran número de núcleos, muchos más que los ofrecidos por una GPU, especializados en realizar operaciones compuestas sobre tipos de datos simples. Esto les permite incrementar el rendimiento en varios órdenes de magnitud respecto a las CPU, multiplicando por entre 30 y 50 veces el ofrecido por las GPU. La mejora en cuanto a rendimiento/consumo es incluso superior.

Para entender mejor la anterior descripción, centrémonos en los aspectos clave de la arquitectura de la primera TPU, que son los siguientes:

- **Simplificación de los núcleos.** Una ALU de CPU/GPU permite operar con datos de distintos tamaños, tanto enteros como en punto flotante, y efectuar sobre ellos distintos cálculos. Aplicando un proceso de *cuantización* [23] se representa el rango de valores de entrada empleando únicamente 8 bits y operando con datos

de punto fijo⁷. Esto contribuye tanto a reducir el tamaño de los núcleos como el tiempo necesario para realizar las operaciones, al trabajar sobre un tipo de dato más compacto. En consecuencia, usando la misma superficie se pueden integrar muchos más núcleos, concretamente 65 536 en la primera versión de TPU.

- **Operaciones compuestas.** Desde hace años los procesadores se diseñan siguiendo una filosofía RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) [20], ofreciendo un conjunto de instrucciones simples que pueden ser ejecutadas en pocos ciclos. En contraposición una TPU ofrece operaciones de mayor complejidad, con instrucciones compuestas que, por ejemplo, permiten realizar múltiples productos y sumas en un único paso. De esta manera se optimizan las tareas a las que está destinado un circuito de este tipo, fundamentalmente la convolución y la multiplicación de matrices/tensores.
- **Funcionamiento sistólico.** Las ALU tradicionales trabajan bajo el control de una máquina de estados, de forma que en cada ciclo se seleccionan operandos desde los registros del procesador, se ejecuta la operación requerida y se lleva el resultado a un registro de destino, volviéndose al inicio para ejecutar un nuevo ciclo. Parte del tiempo de procesamiento, en consecuencia, se dedica a la recuperación y almacenamiento de operandos. La TPU diseñada por Google tiene un comportamiento calificado como *sistólico*, mediante el cual los operandos se leen una sola vez y se reutilizan en múltiples operaciones consecutivas antes de generar un resultado de salida. La circuitería está diseñada de forma que las ALU adyacentes se transfieren las entradas/salidas entre sí en cada pulso (ciclo de reloj). Este diseño resulta ideal para la multiplicación de matrices y operaciones similares, en las que un mismo operando de entrada se usa en múltiples operaciones escalares simples hasta componer el resultado final.

Además de los núcleos de cálculo una TPU también incorpora una importante cantidad de memoria RAM, como en el caso de las GPU, lo cual les permite almacenar localmente la información que van a procesar. En palabras de los ingenieros de Google [24] la diferencia entre una CPU, una GPU y una TPU sería análoga a la existente entre una impresora que imprime carácter a carácter, otra que lo hace línea a línea y una tercera que imprime páginas completas.

4.2. Arquitectura de la TPU de Google

Simplificando el diseño hasta quedarnos exclusivamente con los componentes esenciales, en la Figura 7 se ha representado mediante un esquema de bloques la arquitectura de la TPU fabricada por Google. Como puede apreciarse, gran parte de la circuitería está dedicada a los 64K núcleos de cálculo, las ALU que operan sobre los datos efectuando operaciones como el producto-y-suma antes citada. Es lo que Google denomina MXU (*Matrix Multiplier Unit*).

Además de un grupo de acumuladores, estrechamente conectados a la MXU, la TPU cuenta con un gran conjunto de registros a los que se denomina genéricamente

⁷ Esta representación lógicamente conlleva una pérdida de precisión en los cálculos, pero en general esa disminución es tolerable en la mayoría de escenarios.

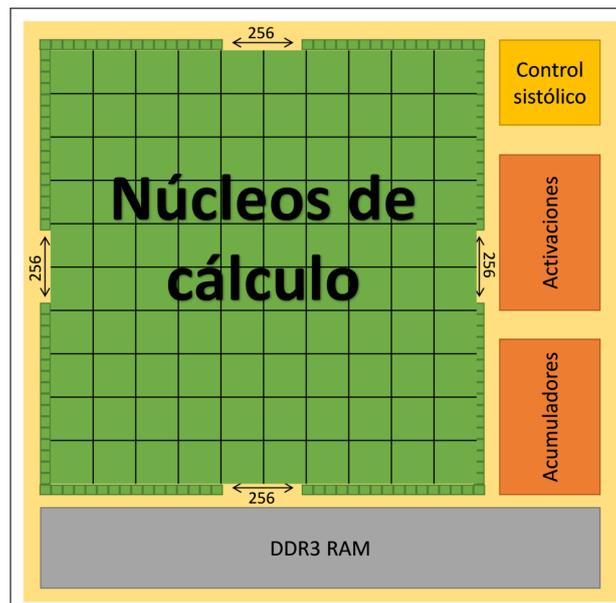


Figura 7. Esquema de bloques simplificado de la primera TPU diseñada por Google.

UB (*Unified Buffer*). Se trata de 24MB de memoria RAM estática (SRAM) usada para almacenar los datos sobre los que se está operando. Asimismo se dispone de una cierta cantidad de memoria tipo DDR, concretamente 8GB en la versión 1 de la TPU.

Al procesar las muestras de datos en una red neuronal, tras las operaciones de multiplicación de matrices, que aplican los pesos a las entradas y las agregan, se procede a convertir el valor resultante mediante una función de activación. Algunas de las funciones de activación más usuales son la sigmoïdal, tangente hiperbólica o la conocida como ReLU (*Rectified Linear Unit*). Este tipo de funciones se implementan habitualmente mediante software, de forma que se convierten en un conjunto de operaciones más simple a ejecutar en la CPU/GPU. La TPU, sin embargo, cuenta con una AU (*Activation Unit*) que ofrece dichas funciones implementadas directamente en el hardware, de forma que se pueden calcular de forma mucho más rápida y sin emplear las unidades de cálculo que componen la MXU.

En comparación con las CPU, GPU y otros tipos de circuitos integrados, en la TPU la circuitería dedicada a operaciones de control representa un espacio mínimo, de en torno al 2% en la primera versión según datos de Google. En contraposición, la MXU, UB y AU ocupan un 60% del espacio. El resto⁸ lo ocupan interfaces de comunicación con la memoria, con el bus PCIe al que se conectan los módulos que sirven de soporte a las TPU, etc. Parte de esos recursos sirven asimismo para conectar las TPU entre sí, formando mallas a las que se denomina comercialmente *TPU Pods*. Por ejemplo, una TPUv2 Pod se compone de 64 dispositivos TPUv2.

⁸ En [24] se facilita información ampliada y múltiples esquemas, incluyendo animaciones, describiendo la arquitectura y funcionamiento de Google TPU.

4.3. Rendimiento de una TPU

Más allá de los datos que facilita Google en [24], artículo en el que se deduce que la TPUv1 a 700MHz ejecuta 92 Teraops ($9,2 \times 10^{13}$) por segundo, o del estudio de rendimiento aportado en [22], probablemente los mejores indicadores de la potencia que ofrece este tipo de ASIC a la hora de trabajar con redes profundas sean los obtenidos empíricamente, por ejemplo a partir de competiciones en las que se opera con hardware heterogéneo.

Si bien la mayoría de las competiciones se centran casi exclusivamente en el nivel de precisión de las predicciones, la inferencia llevada a cabo por la red neuronal, la Universidad de Stanford ha puesto en marcha DAWNbench⁹, una competición cuyo objetivo es determinar el tiempo y recursos que se emplean entrenando y haciendo inferencia con técnicas DL para procesar un conjunto de datos predeterminado. Para ello se fija un nivel mínimo de precisión que es necesario alcanzar: el 93 %.

A fecha de junio de 2018 el primer puesto del ranking en esta competición lo ocupa una implementación de ResNet50 ejecutada usando la mitad de una TPUv2 Pod, consiguiéndose la precisión mínima en algo más de 30 minutos. La configuración más rápida usando GPU, también basada en ResNet50, tarda casi 3 horas. Para conseguir realizar el trabajo en ese tiempo se ha usado una instancia de AWS (*Amazon Web Services*) de tipo *p3.16xlarge*, compuesta de 8 GPU Tesla V100, 128GB de memoria en GPU y 488GB de RAM. Usando exclusivamente CPU es necesario usar 64 nodos, cada uno de ellos con Intel Xeon Platinum de 72 núcleos y 144GB de RAM, y se tardan algo más de 6 horas en completar la tarea.

Como es fácil apreciar a partir de los datos previos, en el caso de GPU y CPU se precisaría una configuración hardware con un coste muy alto y, aun así, no se llegaría a alcanzar el mismo rendimiento que el ofrecido por una TPU. En los casos citados se trata de configuraciones en la nube de pago por uso, su adquisición tendría un precio fuera del alcance de la mayoría de usuarios y de muchas empresas.

4.4. Procesadores para IA y aceleradores de redes neuronales

Habiendo conocido su finalidad y fundamentos de funcionamiento, cabe preguntarse qué productos existen actualmente disponibles para cualquiera interesado en trabajar con procesadores IA, tipo TPU, u otro tipo de aceleradores para redes neuronales.

En los anteriores apartados se ha tomado como referencia la TPU desarrollada por Google al ser el primer dispositivo de este tipo del que se hizo pública información al respecto, pero desde entonces han sido varios los fabricantes que no han querido perder su parte de este mercado, entre ellos algunos tan importantes como Intel o NVidia. En muchos casos este hardware especializado no se vende, sino que es ofrecido como un servicio por el que se paga según el tiempo de uso.

A continuación se facilita una enumeración no exhaustiva del hardware para DL desarrollado por distintas empresas, junto con un resumen de sus características públicas más destacables.

⁹ <http://dawn.cs.stanford.edu/benchmark>

Google Cloud TPU cloud.google.com/tpu

Inicialmente las TPU fueron desarrolladas en Google para uso interno en sus propios centros de procesamiento de datos, pero desde la segunda versión esta empresa ofrece un servicio denominado *Google Cloud TPU*. Cada instancia de este servicio consta de de cuatro circuitos integrados que albergan dos núcleos TPU cada uno, haciendo un total de 8 dispositivos TPU. Cada uno de estos tiene una MXU con 16 384 núcleos de cálculo (128×128) que, a diferencia de los anteriormente descritos, operan con datos en un formato compacto de punto flotante de 16 bits, en lugar de enteros de 8 bits. Según Google, una Cloud TPU ofrece 180 teraflops y 64GB de memoria. Se ofrecen distintas herramientas para desarrolladores, que han de crear sus modelos usando TensorFlow, incluyendo algunas redes profundas muy conocidas ya preparadas para su uso.

Intel Nervana ai.intel.com/intel-nervana-neural-network-processor

Esta es la denominación comercial que Intel da a sus NNP (*Neural Network Processor*), cuyo primer producto se anunció a mitad del pasado 2017. Aunque la información pública sobre Nervana es aun escasa, se conocen dos de los aspectos clave que han influido en su diseño. Por una parte se utiliza Flexpoint [25], una representación alternativa al estándar IEEE FP16 para operar con tensores en punto flotante, en los núcleos de cálculo. Flexpoint es más compacto, permitiendo incorporar más núcleos en el mismo espacio, y ofrece mejor rendimiento que el cálculo en punto flotante estándar. Por otra parte, Intel ha trabajado en reducir el principal cuello de botella: el acceso a memoria. Nervana dispone de un controlador con capacidad para 1.2 terabit/s de ancho de banda bidireccional. Recientemente el fabricante ha presentado Nervana Neural Net L-1000, un servicio que permitirá a desarrolladores usar estos NNP si bien no se espera que esté disponible hasta 2019.

Nvidia Tensor Core Unit www.nvidia.com/data-center/tesla-v100

La última generación de hardware de Nvidia, denominada Volta y que da lugar a la familia de productos V100, se diferencia esencialmente de todas las anteriores por incorporar, además de los habituales núcleos CUDA, un nuevo tipo de núcleo: el TCU (*Tensor Core Unit*) [26]. Concretamente se cuenta con 640 núcleos de este tipo, siendo capaz cada uno de ejecutar 64 operaciones por ciclo usando precisión mixta: multiplicaciones en 16 bits y suma de agregación en 32 bits. Estos nuevos núcleos están diseñados para que los desarrolladores creen sus soluciones usando TensorFlow o una biblioteca similar. Además también se ha incrementado el ancho de banda entre la memoria y las unidades de cómputo, acercándose a 1 terabit/s. A diferencia de los dos productos previos, este puede adquirirse físicamente. A los TCU hay que añadir que la familia V100 cuenta con 5 120 núcleos CUDA FP32 y 2 560 núcleos FP64, lo cual permite construir soluciones mixtas en las que se explota el paralelismo clásico en GPU y el cálculo tensorial en TCU.

ARM Trillium www.arm.com/products/processors/machine-learning

La empresa ARM es conocida por sus diseños de procesador que, fabricados por terceros, hacen funcionar miles de millones de dispositivos móviles. La demanda para que

estos procesen vídeo, lenguaje natural o realicen traducciones ha llevado a la creación de Trillium por parte de ARM. Se trata de tres circuitos integrados diseñados para tareas específicas: ARM ML (*Machine Learning*), ARM OD (*Object Detection*) y ARM NN (*Neural Network*). No son productos comparables a los anteriores, ya que su objetivo es ofrecer el mejor rendimiento con el menor consumo posible, facilitando así su integración en tabletas, teléfonos móviles y dispositivos similares.

Microsoft Brainwave aka.ms/aml-real-time-ai

La fabricación de ASIC no es la única vía para implementar arquitecturas hardware a medida para la aceleración de los cálculos al trabajar con modelos DL, tal y como ha demostrado Microsoft con su reciente anuncio (en la *Build 2018 Conference*) del proyecto Brainwave. En este se ha recurrido a una FPGA [27] para implementar lo que denominan *soft DPU (DNN Processing Unit)*, un tipo de procesador para redes neuronales profundas que se caracteriza por ser reconfigurable (*soft*), en contraposición a la arquitectura fija de las TPU y similares (*hard*). Esto permite, por ejemplo, ajustar la implementación de la DPU para el tipo de dato específico¹⁰ que se precise en un determinado modelo, optimizando el espacio usado y mejorando el rendimiento. En realidad la DPU es uno de los tres componentes de Brainwave, proyecto que también incluye una infraestructura de comunicación de muy baja latencia y gran ancho de banda para comunicar las DPU, por una parte, y un compilador y entorno de ejecución que facilitará a los desarrolladores la creación y despliegue de los modelos DL. Se trata de un servicio que estará disponible a través de Microsoft Azure.

Además de productos diseñados para su venta a usuarios finales, son muchos los fabricantes que han desarrollado sus propios ASIC IA para consumo interno, generalmente como parte de SoC para dispositivos móviles. El SoC A11 de Apple, incorporado en el iPhone X, cuenta con un *Neural Engine*. El procesador Kirin 970, usado en algunos dispositivos de Huawei, incorpora una NPU (*Neural Processing Unit*). Los últimos SoC PowerVR tienen como novedad el NNA (*Neural Network Accelerator*). Microsoft ha desarrollado una HPU (*Holographic Processing Unit*) para sus HoloLens que cuenta con un coprocesador IA. La lista seguirá creciendo, ya que la tendencia a incorporar hardware para mejorar el rendimiento de tareas como las ya mencionadas no se detendrá en los dispositivos de más alta gama, como ocurre ahora.

5. Conclusiones

Las técnicas de DL, empleadas para entrenar y realizar inferencia con redes neuronales profundas, cada vez se aplican a más campos, incluyendo la traducción automatizada, el procesamiento de lenguaje natural que permite a los usuarios dar instrucciones a sus dispositivos, el etiquetado automático de personas en fotografías o la identificación biométrica, entre otros. Los modelos DL tienden a incrementar su complejidad, al tratar con tipos de datos cada vez más complejos o sencillamente para mejorar su

¹⁰ Virtualmente es posible operar con datos de cualquier precisión y tamaño simplemente personalizando la descripción hardware que después se enviará a la FPGA.

nivel de acierto, lo cual se traduce en una mayor demanda computacional. Esta supera en muchos casos lo que pueden ofrecer las CPU y GPU, lo cual justifica el desarrollo de hardware a medida (ASIC) para satisfacer dicha demanda.

En este artículo se han explicado los fundamentos del funcionamiento de una red neuronal profunda, introduciendo el concepto de cálculo tensorial como una extensión del álgebra lineal. La multiplicación de matrices y tensores, operación parcialmente paralelizable en una CPU/GPU, se optimiza en las TPU, cuya arquitectura general se ha descrito antes de proceder a realizar una revisión de los distintos productos que varias empresas fabrican actualmente.

Referencias

1. D. López Talavera, C. Rus Casas, F. Charte Ojeda, Estructura y tecnología de computadores, Anaya, ISBN: 84-415-2606-8, 2009.
2. E. Martín Cuenca, J. M. Angulo Usategui, I. Angulo Martínez, Microcontroladores PIC. La solución en un chip, ITP-Paraninfo, ISBN: 84-283-2371-2, 1999.
3. T. L. Floyd, Digital Fundamentals, 10/e, Pearson Education, 2011.
4. Wikipedia, Internet de las cosas.
URL https://es.wikipedia.org/wiki/Internet_de_las_cosas
5. I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville, Deep Learning, MIT Press, 2016, <http://www.deeplearningbook.org>.
6. C. J. Hughes, Single-Instruction Multiple-Data Execution, 2015. doi:10.2200/S00647ED1V01Y201505CAC032.
7. F. Charte, A. J. Rueda, M. Espinilla, R. A. J., Evolución tecnológica del hardware de vídeo y las GPU en los ordenadores personales, Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores (7) (2017) 111–128.
URL <http://hdl.handle.net/10481/47376>
8. F. Charte, A. J. Rivera, F. J. Pulgar, M. J. d. Jesús, Explotación de la potencia de procesamiento mediante paralelismo: un recorrido histórico hasta la GPGPU, Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores (6) (2016) 19–33.
URL <http://hdl.handle.net/10481/41910>
9. Nvidia, The New GPU Architecture Designed to Bring AI to Every Industry.
URL <https://www.nvidia.com/en-us/data-center/volta-gpu-architecture/>
10. G. E. Hinton, S. Osindero, Y.-W. Teh, A fast learning algorithm for deep belief nets, Neural computation 18 (7) (2006) 1527–1554.
11. W. Rawat, Z. Wang, Deep convolutional neural networks for image classification: A comprehensive review, Neural computation 29:9 (2017) 2352–2449.
12. D. Charte, F. Charte, S. García, M. J. del Jesús, F. Herrera, A practical tutorial on autoencoders for nonlinear feature fusion: Taxonomy, models, software and guidelines, Information Fusion 44 (2018) 78–96.
13. S. Hochreiter, J. Schmidhuber, Long short-term memory, Neural computation 9 8 (1997) 1735–80.
14. D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, R. J. Williams, Learning internal representations by error propagation, Tech. rep., DTIC Document (1985).
15. C. Szegedy, S. Ioffe, V. Vanhoucke, A. A. Alemi, Inception-v4, inception-resnet and the impact of residual connections on learning, in: AAAI, 2017.
16. Y. LeCun, C. Cortes, C. J. Burges, The MNIST database of handwritten digits.
URL <http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>

17. M. Abadi, et al., TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous systems, software available from tensorflow.org (2015).
URL <https://www.tensorflow.org/>
18. S. Treil, Linear algebra done wrong, 2016.
URL <https://www.math.brown.edu/~treil/papers/LADW/LADW.html>
19. T. G. Kolda, B. W. Bader, Tensor decompositions and applications, SIAM review 51 (3) (2009) 455–500.
20. J. Ortega Lopera, M. Anguita López, A. Prieto Espinosa, Arquitectura de computadores, Thomson, 2005.
21. K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun, Identity mappings in deep residual networks, in: European Conference on Computer Vision, Springer, 2016, pp. 630–645.
22. N. P. Jouppi, et al., In-datacenter performance analysis of a tensor processing unit, SIGARCH Comput. Archit. News 45 (2) (2017) 1–12. doi:10.1145/3140659.3080246.
23. D. Lin, S. Talathi, S. Annapureddy, Fixed point quantization of deep convolutional networks, in: International Conference on Machine Learning, 2016, pp. 2849–2858.
24. K. Sato, C. Young, D. Patterson, An in-depth look at Google's first Tensor Processing Unit (TPU) (2017).
URL <https://cloud.google.com/blog/big-data/2017/05/an-in-depth-look-at-googles-first-tensor-processing-unit-tpu>
25. U. Köster, T. Webb, X. Wang, M. Nassar, A. K. Bansal, W. Constable, O. Elibol, S. Gray, S. Hall, L. Hornof, et al., Flexpoint: An adaptive numerical format for efficient training of deep neural networks, in: Advances in Neural Information Processing Systems, 2017, pp. 1742–1752.
26. S. Markidis, S. W. Der Chien, E. Laure, I. B. Peng, J. S. Vetter, Nvidia tensor core programmability, performance & precision, arXiv preprint arXiv:1803.04014.
27. F. Charte, M. Espinilla, R. A. J., P. F. J., Uso de dispositivos FPGA como apoyo a la enseñanza de asignaturas de arquitectura de computadores, Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores (7) (2017) 37–52.
URL <http://hdl.handle.net/10481/47371>

Clúster de Computación Científica de Bajo Coste y Consumo

Mariano Hernández¹, Alberto A. Del Barrio¹, Guillermo Botella¹

¹ Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática, Facultad de Informática de la Universidad Complutense de Madrid
Madrid, España

{marianoh, abarriog, gbotella}@ucm.es

Resumen. En este trabajo se presenta la construcción de un clúster basado en FPGAs de gama baja, capaz de ejecutar programas muy intensivos en datos en el mismo o en menor tiempo que una estación de trabajo con 56 cores lógicos, de mucho mayor coste y consumo. Se ha generado una imagen personalizada basada en Debian 8 y se ha instalado en ella el software necesario para poder ejecutar códigos escritos en OpenCL y compilados con el Kit de desarrollo de software de Intel para FPGAs. Además, se ha realizado una comparativa de los tiempos de ejecución, coste y consumo energético, cuyo resultado ha sido que el clúster es casi 6 veces más barato y es capaz de obtener reducciones energéticas del 83%.

Palabras Clave: FPGA, clúster, OpenCL, bajo consumo, bajo coste.

Abstract. In this work we present the construction of a cluster based on low-end FPGAs. Such cluster is able to execute data-intensive applications in a similar amount of time as a 56-threaded workstation, which is much more power-hungry and expensive. In order to perform this task, an in-house Debian 8-based image has been developed, and the required software to run OpenCL kernels compiled with Intel FPGA SDK for OpenCLv16.0 has been installed. Moreover, several comparisons tackling execution time, cost and energy consumption have been performed. As a result, we concluded that the cluster is almost 6 times cheaper than the workstation, and reaching 83% energy reductions.

Keywords: FPGA, cluster, OpenCL, low-power, low-cost.

1 Introducción

Las grandes cantidades de datos que se generan a diario y la necesidad de procesarlas han aumentado la demanda de la capacidad de cómputo de nuestros sistemas informáticos. Una de las soluciones más importantes en los últimos años ha sido el agrupamiento o clustering de sistemas informáticos [1-2, 9-12], conectándose entre sí

por medio de una red de altas prestaciones, con el fin de que se comporten como una única computadora. Estos clústeres hacen uso de la programación distribuida para ejecutar algoritmos en el menor tiempo posible (altas prestaciones o HPC) o para proporcionar un servicio continuo capaz de recuperarse ante los fallos (alta disponibilidad o HTC). El Máster de Ingeniería Informática de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) [3-8] dispone de diversas asignaturas en las cuales se profundiza en estos contenidos, aunque el presente trabajo se presentó como Trabajo de Fin de Máster en el curso 2016-2017 [17-18].

Uno de los paradigmas de programación distribuida más importantes hoy en día es OpenCL [19], que permite paralelizar aplicaciones tanto en GPUs, multicores como FPGAs. Habitualmente en la literatura se encuentran trabajos que aceleran computaciones con OpenCL sobre una FPGA [10, 12] o por medio de un clúster de FPGAs, pero sin OpenCL [11, 20, 22]. Aquí nace la idea y motivación del proyecto: el desarrollo de un clúster de FPGAs que, ejecutando algoritmos implementados en C y OpenCL, sea capaz de procesarlos en un tiempo aceptable, con un consumo muy inferior al de un ordenador personal o una estación de trabajo.

Como elemento nodo de este clúster hemos decidido utilizar la Altera Cyclone V DE1-SoC, dado que tienen un coste de \$179 para universidades. Son apropiadas para este proyecto ya que son placas que cuentan con un procesador físico de doble núcleo (ARM Cortex-A9 Dual Core) capaz de ejecutar un Sistema Operativo (SO) Unix/Linux, y una FPGA de la familia Cyclone V. Otra ventaja muy importante, es que permiten ser programadas en OpenCL [19] utilizando un kit de desarrollo software (SDK) creado por Altera, compañía recientemente adquirida por Intel. No obstante, esto exige disponer de un SO compatible con OpenCL y que permita una rápida interconexión para transferir datos. Tras estudiar la literatura nos dimos cuenta de la carencia de tal SO, por lo que en este trabajo presentaremos una imagen basada en Debian-8 y compatible con OpenCLv16.0. A continuación, presentaremos también resultados de tiempo, consumo y coste tras ejecutar diversos programas tanto en el clúster propuesto como en una workstation de 56-cores lógicos. Los resultados muestran que el clúster es energéticamente más eficiente, llegando a consumir un 83% menos, y con un coste casi 6 veces inferior.

El resto del artículo se organiza de la siguiente forma: la Sección 2 describe los SOs analizados, mientras que la Sección 3 presenta la arquitectura de nuestra propuesta. La Sección 4 describe los benchmarks utilizados y finalmente las Secciones 5 y 6 muestran los resultados y las conclusiones del trabajo, respectivamente.

2 Estudio del Estado del Arte

Tal y como muestra la Figura 1, el SO se ejecutará en el ARM A9 de la DE1-SoC y recibirá el kernel OpenCL compilado por otra máquina. En esta sección se ha realizado un estudio sobre las imágenes de UNIX/Linux que existen actualmente para las placas DE1-SOC, con el fin de determinar la más adecuada para lograr el objetivo del proyecto. Estas imágenes deben cumplir dos requisitos indispensables:

- Deben tener una conexión de red rápida, que pueda funcionar sin necesidad de introducir la contraseña a través del protocolo SSH. Esto es necesario para enviar y

recibir la información a las placas de la forma más rápida posible y para evitar que, desde el nodo maestro, haya que escribir las credenciales de acceso para cada conexión.

- Deben tener instalado el software necesario para ejecutar aplicaciones escritas en C y OpenCL compiladas con la versión 16.0 del Intel FPGA SDK for OpenCL, que es la versión más reciente en la fecha que se empezó a escribir este Estado del arte y es la versión que se ha instalado en la estación de trabajo utilizada para compilar.

Linux Angstrom es una distribución de Linux basada en Debian creada especialmente para ser ejecutada en sistemas empotrados como las DE1-SoC. Es compatible con el proyecto Yocto, que es un proyecto de software libre que proporciona las plantillas, mecanismos y herramientas necesarias para crear distribuciones de Linux para sistemas empotrados. Esta imagen no cumple con ninguno de los requisitos que hemos impuesto. Por un lado, la red presenta problemas de velocidad de conexión que no pueden solucionarse al tratarse de una distribución personalizada y muy limitada en cuanto a configuración, lo que podría ser un problema en un futuro de cara a la instalación de software. Por otro lado, se presenta un problema relacionado con falta de librerías que impide ejecutar un programa compilado con el Intel FPGA SDK for OpenCL.

Por otro lado, se evaluaron cuatro imágenes de Linux BSP que se pueden descargar también desde la web de Altera:

- Linux Console. Se trata de una distribución basada en el proyecto Angstrom como la anterior, pero a diferencia de ella viene sin el módulo necesario para ejecutar OpenCL, aunque podría instalarse manualmente. No obstante, la conexión es lenta.

- Linux Console con framebuffer. Es igual que la anterior, solo que se ha utilizado la FPGA para que a través del puerto VGA de la placa se obtenga imagen. Esto posibilita conectar la placa a un monitor VGA y visualizar la terminal en él, pero tiene

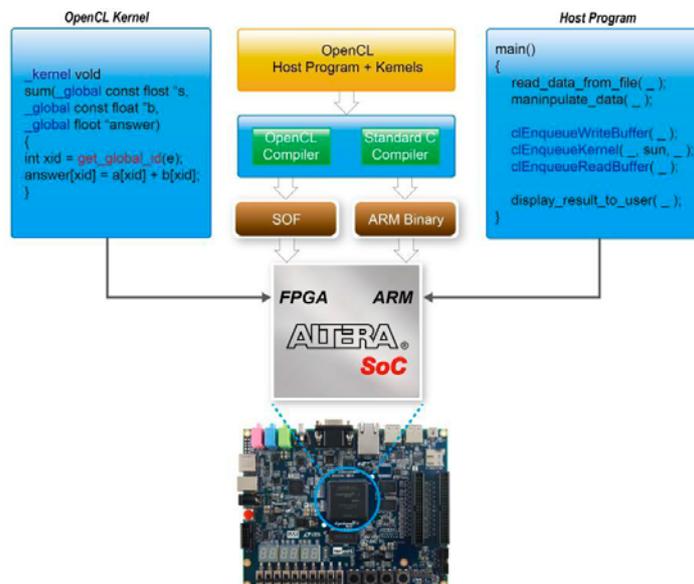


Figura 1. Integrando OpenCL y la DE1-SoC

un gran inconveniente para nuestro proyecto: la FPGA queda inutilizada para ejecutar los algoritmos en OpenCL.

- Linux LXDE Desktop. Se trata de una distribución basada en LXDE con interfaz gráfico a través del puerto VGA. Como en el caso anterior, la FPGA se utiliza para comunicar la señal de video a través del puerto VGA y por lo tanto queda inutilizada para ejecutar OpenCL. No obstante, la red funciona sin problemas: la conexión es rápida y el intercambio de ficheros se hace a la máxima velocidad que permite la red.

- Linux Ubuntu Desktop. Igual que la anterior, pero basada en Ubuntu. La red también funciona sin problemas, pero la FPGA no puede utilizarse para acelerar los algoritmos.

Por último, se probó con la imagen de Linux incluida en el paquete Intel FPGA SDK for OpenCL. Se trata de la imagen de UNIX/Linux con base OpenBSD que viene incluida junto a la instalación del software de Intel necesario para realizar la compilación cruzada de los programas. Configuramos la red mediante el protocolo DHCP, pero la conexión por SSH no funcionó.

Dado que no encontramos una imagen que cumpliera todos los requisitos, decidimos desarrollar una propia basada en Debian 8. Los pasos detallados para hacer esto se encuentran en [17-18].

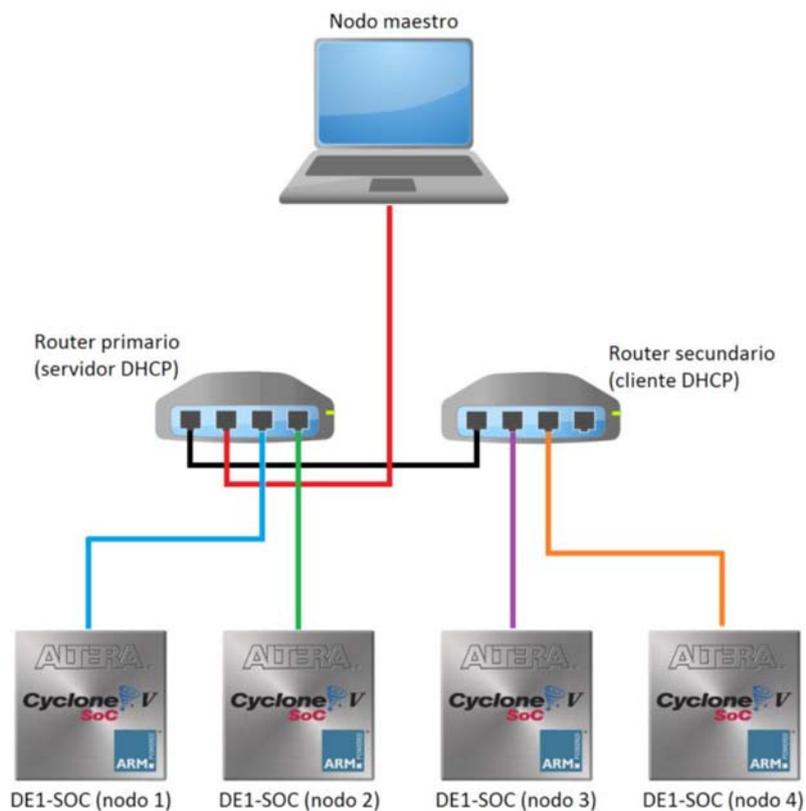


Figura 2. Arquitectura del sistema con 4 DE1-SoCs

3 Arquitectura del Sistema

La Figura 2 muestra la arquitectura del sistema con 4 DE1-SoCs, que es el máximo número de placas que teníamos disponibles. Para realizar la conexión utilizamos 2 enrutadores de 4 puertos Fast Ethernet. No se trata de routers de alto rendimiento, sino que son los típicos que proporcionan los Proveedores de servicios de Internet (ISP en su sigla en inglés). En nuestro caso son un Amper Xavi 7868r de Movistar y un TD5130 de ONO. Necesitamos conectarlos entre sí en la misma red local puesto que necesitamos que los nodos esclavos se puedan comunicar con el maestro. Esto hace un total de 5 conexiones (el nodo maestro más 4 nodos esclavos). Por ser más moderno, el TD5130 será el router maestro y, por lo tanto, será el servidor DHCP. Por otro lado, el Amper Xavi 7868r será el router secundario y será cliente de dicho servidor DHCP. Además, necesitamos cables Fast Ethernet y un computador funcionando como nodo maestro para enviar los kernels OpenCL así como los datos de entrada, y para recibir los datos de salida proporcionados por las DE1-SoCs.

Además de la configuración con 4 nodos, la configuración con 3 DE1-SoCs es particularmente interesante, ya que permite eliminar uno de los routers, disminuyendo el consumo final notablemente, como podrá verse en la Sección 5.

4 Benchmarks utilizados

En esta sección describiremos los programas utilizados para probar la eficiencia del sistema, que son los siguientes:

- El filtro de Sobel [21]. Es un filtro para detectar los bordes de una imagen.
- El filtro de Laplace [21]. Al igual que el anterior, es otro filtro para detectar los bordes de una imagen.
- El algoritmo Gaussian blur [21]. Se trata de una transformación para eliminar el ruido de una imagen, por ejemplo.
- El algoritmo de Lucas-Kanade [21]. Es un algoritmo de flujo óptico que detecta la variación de la posición de los elementos pertenecientes a una secuencia de imágenes (frames de un vídeo). Dicho algoritmo, toma 2 imágenes y genera una mostrando el movimiento de los píxeles ocurrido por medio de distintos colores.

Los 3 primeros programas se han probado paralelizando *en espacio*, es decir, dada una imagen de entrada, ésta se fragmenta y cada nodo es responsable de aplicar el kernel sobre el fragmento correspondiente. Para completar las pruebas se han utilizado diferentes resoluciones en las imágenes de entrada: Full HD, 2K, 4K, 5K and 8K [14-15].

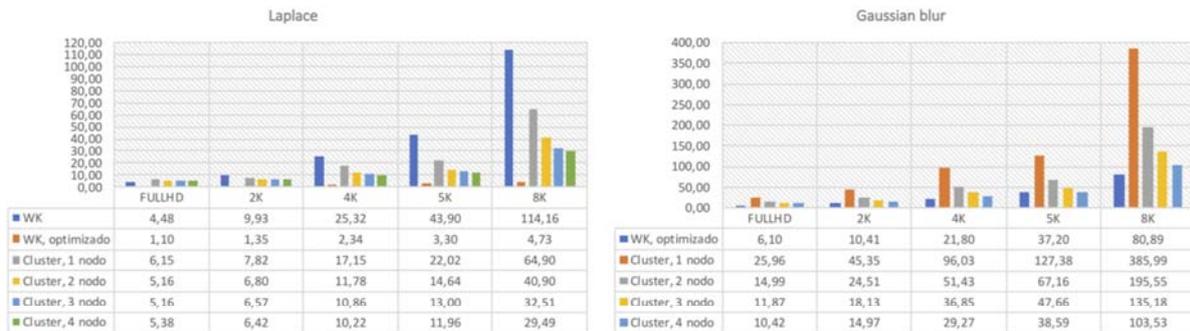
Por el contrario, el algoritmo de Lucas-Kanade se ha paralelizado *en el tiempo*, es decir, dada una secuencia de frames, ésta se divide y cada subconjunto es procesado por un nodo diferente. En este caso, se han probado conjuntos de 5, 10, 15, ... hasta 50 imágenes.

Los algoritmos necesarios para realizar dichas paralelizaciones y preparar los kernels OpenCL pueden encontrarse en [17-18].

Por último hay que mencionar que los kernels OpenCL se generan en una máquina distinta a las placas, lo que se conoce como compilación cruzada. Dado que la

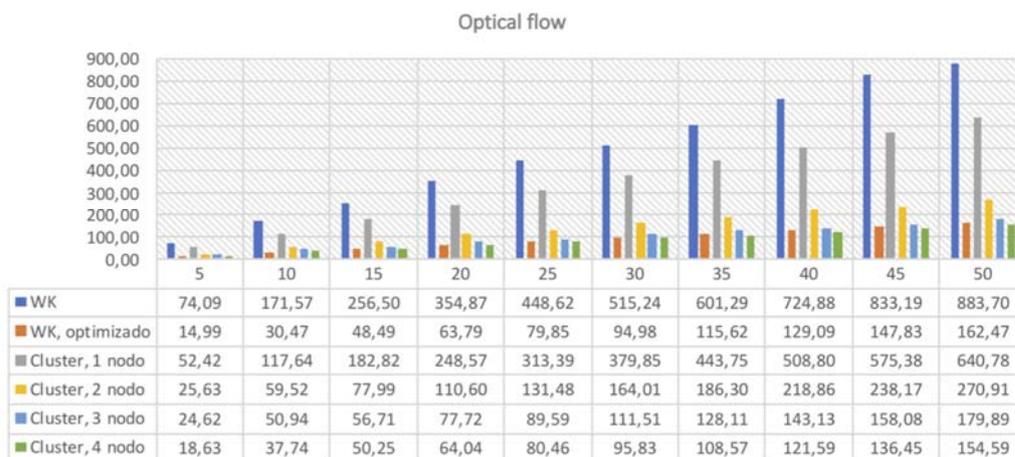
compilación de OpenCL requiere de un hardware con mucha memoria RAM y muchos accesos a disco, se ha decidido utilizar una workstation cuyo acceso ha sido facilitado por el Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática (DACYA) de la UCM. Esta workstation cuenta con 32 cores, 32GB de RAM y un SSD de alto rendimiento de Intel. El software que ha sido necesario instalar en ella ha sido el siguiente:

- Quartus Prime Design Suite Release 16.0.
- Intel FPGA SDK para OpenCL versión 16.0.
- Altera SoC EDS.
- DE1-SOC OpenCL Board Support Package (BSP).



(a) Laplace

(b) Gaussian blur



(c) Lucas-Kanade

Figura 3. Tiempos de ejecución (s): workstation vs Clúster

Tabla 1. Potencia consumida (W) por la workstation [17]

Elemento	Potencia/unidad (W)	Cantidad	Potencia (W)
Intel Xeon E5	120	2	240
8GB DDR3 RAM	4,35	2	8,7
1 TB HDD	7,75	1	7,75
150 GB SSD	1,7	2	3,4
Placa base	62,5	1	62,5
Total			322,35

Tabla 2. Potencia consumida (W) y coste estimado (\$) del clúster [17]

Elemento	Precio/unidad (\$)	Potencia/unidad (W)	Cantidad	Coste (\$)	Potencia (W)
DE1-SoC	179	6,36	4	716	25,44
Router Xavi	46	15	1	46	15
Router ONO	46	12	1	46	12
Cables Ether.	6	0	5	30	0
Mem. Micro SD	16	0	4	64	0
Portátil	600	18	1	600	18
Total				1502	70,44

5 Experimentos

En esta sección presentaremos los resultados que demuestran la eficiencia del clúster construido. En primer lugar, tras compilar los kernels OpenCL como se mencionó en la Sección 4, estudiamos el tiempo de ejecución. En la Figura 3 se muestran los resultados para Laplace, Gaussian blur y Lucas-Kanade. Ha de notarse que los resultados de Sobel no aparecen por problemas de espacio, pero son similares a los de Laplace. Además, de los resultados del clúster con distintas configuraciones dependiendo del número de nodos, se muestran los resultados de ejecución en una workstation que cuenta con dos Intel Xeon E5-2695 v3, cada uno compuesto de 14 cores físicos, y con 2 threads/core, es decir, un total de 56 hilos o cores lógicos. Además tiene 16 GB de RAM y un disco SSD. Por último, en el caso de la workstation se muestran dos resultados: con OpenCL (WK) y con OpenCL y optimizado (WK, optimizado). Dicha optimización consiste en adaptar el kernel OpenCL al procesador de la workstation, utilizando para ello el número de grupos de trabajo dado por el compilador.

Tabla 3. Energía (kJ) consumida por la workstation (versión optimizada) y el clúster con 3 y 4 nodos [17]

		workstation	Cluster-3	Cluster-3 ratio	Cluster-4	Cluster-4 ratio
Laplace	FullHD	0.35	0.25	0.71	0.37	1.06
	2K	0.43	0.32	0.74	0.45	1.05
	4K	0.75	0.53	0.71	0.71	0.95
	5K	1.06	0.64	0.60	0.84	0.79
	8K	4.52	1.6	0.35	2.07	0.46
Sobel	FullHD	0.39	0.27	0.69	0.39	1.00
	2K	0.52	0.33	0.63	0.46	0.88
	4K	0.89	0.53	0.60	0.72	0.81
	5K	1.2	0.63	0.53	0.85	0.71
	8K	1.71	1.54	0.90	2.07	1.21
Gaussian blur	FullHD	1.96	0.58	0.30	0.73	0.37
	2K	3.35	0.89	0.27	1.05	0.31
	4K	7.02	1.81	0.26	2.06	0.29
	5K	11.99	2.34	0.20	2.71	0.23
	8K	26.07	6.63	0.25	7.29	0.28
Lucas-Kanade	25 frames	25.74	4.4	0.17	5.66	0.22
	50 frames	52.37	8.83	0.17	10.88	0.21

Como puede observarse, la versión optimizada sobre la workstation es la más rápida en general. Sin embargo, a medida que el clúster va aumentando el número de nodos, obtiene unos resultados bastante comparables e incluso ligeramente mejores, como en el caso de Lucas-Kanade. No obstante, la mayor ventaja proporcionada por el clúster es su bajo coste y su bajo consumo, como se verá en la siguiente subsección.

5.1 Coste y consumo

Las Tabla 1 muestra el consumo de la workstation de 56 cores lógicos, el cual es mayor de 322W. El coste estimado de acuerdo de dicha máquina, de acuerdo a [24], es de \$8482. Por otro lado, la Tabla 2 muestra el consumo de potencia y el coste en \$ del clúster propuesto en su configuración más completa, es decir, 4 DE1-SoCs. Como puede observarse, el consumo es de 70.4W y el precio total de \$1,502 (\$902 sin el portátil). Es decir, la workstation consume 4.57X más y cuesta 5.64X más (9.4X sin el portátil).

No obstante, para estudiar la eficiencia del sistema hay que tener en cuenta el consumo total de energía [13, 16, 23]. La Tabla 3 muestra el consumo de energía (kJ)

para el clúster configurado con 3 y 4 nodos, y para la workstation en su versión optimizada. En el caso de Laplace, Sobel y Gaussian blur se muestran los resultados para todas las resoluciones estudiadas, mientras que para Lucas-Kanade se muestran solo dos casos (25 y 50 frames). Las columnas Cluster-3 ratio y Cluster-4 ratio muestran la relación entre la energía consumida por el clúster con 3 y 4 nodos, respectivamente, y la energía consumida por la workstation. Por tanto, un valor por debajo de 1 significará que el clúster consume menos energía que la workstation.

Como puede observarse en la Tabla 3, casi todos los casos del clúster con 4 nodos y todos los casos del clúster con 3 nodos producen ahorros de energía, llegando al 83% en el mejor de los casos. A pesar de que el clúster con 4 nodos siempre es más rápido, la configuración con 3 nodos ha demostrado ser muy eficiente, ya que como comentamos anteriormente el segundo router no es necesario, bajando así el consumo total.

6 Conclusiones

En este artículo hemos presentado el resultado del Trabajo de Fin de Máster: un clúster de muy bajo coste y consumo, basado en FPGAs de gama baja, como la presente en la placa DE1-SoC, y OpenCL. Para conseguir la máxima eficiencia del sistema se ha desarrollado una versión propia de SO, basada en Debian 8 y compatible con la versión 16.0 del Intel FPGA SDK para OpenCL. Además, se han paralelizado diversas aplicaciones de procesamiento de imágenes para probar la velocidad y la eficiencia energética del sistema. Tal y como muestran los resultados, se han conseguido unos tiempos de ejecución cercanos a los de una workstation con 56 cores lógicos y casi 6 veces más cara que el clúster. A nivel energético, el clúster ha demostrado ser mucho más eficiente, logrando reducciones del 83%.

En el futuro, el sistema podría mejorarse escalándolo con más nodos y con una red más rápida, ya que el clúster propuesto estaba basado en Fast Ethernet y sería sencillo y no mucho más caro emplear Gigabit Ethernet, por ejemplo.

Agradecimientos. Nos gustaría agradecer al proyecto del MINECO con Fondos FEDER y número TIN2015-65277, así como al proyecto PR26-16/20B-1, financiado por la UCM y el Banco Santander.

Referencias

1. Michael Feldman 2017. "Microsoft's Plan for FPGAs in Azure". <https://www.top500.org/news/microsofts-plans-for-fpgas-in-azure-should-worry-traditional-chipmakers/>. [Online; accedido 09-Abril-2018].
2. George Leopold 2016. "Intel's FPGAs Target Datacenters, Networking". <https://www.hpcwire.com/2016/10/06/intels-fpgas-target-datacenters-networking/>. [Online; accedido 09-Abril-2018].
3. Máster en Ingeniería Informática de la Universidad Complutense de Madrid, <http://informatica.ucm.es/estudios/2017-18/master-ingenieriainformatica>

4. D. Lora et al., “Sistema de Seguridad Basado en una Plataforma Heterogénea Distribuida“, *Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores*, 5: 29-38 (2015).
5. F. Párrales et al. “Una Orquesta Sinfónica como Ejemplo de Aplicación de un Sistema Empotrado Distribuido”, *Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores*, 5: 115-124 (2015).
6. I.M. Laclaustra et al. “Sistema Domótico Distribuido para Controlar el Riego y el Aire Acondicionado en el Hogar”, *Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores*, 6: 87-102 (2016).
7. H. Ivanov et al. “Bomberman modo multijugador”, *Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores*, 7: 53-68 (2017).
8. Jesús Martín Alonso et al., 2016. A distributed HW-SW platform for fireworks. Proceedings of the *Summer Computer Simulation Conference (SCSC '16)*. Society for Computer Simulation International, Montreal, artículo 17, 7 pages.
9. A. A. Del Barrio et al., "A Distributed Clustered Architecture to Tackle Delay Variations in Datapath Synthesis," *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, vol. 35, no. 3, pp. 419-432, 2016.
10. Bai, X. et al. 2017. “Acceleration of RSA processes based on hybrid ARM-FPGA cluster”. *IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pp. 682–688.
11. Castillo, J. et al. 2009. “Hardware accelerated monte carlo financial simulation over low cost FPGA cluster”. *IEEE International Symposium on Parallel Distributed Processing*, pp. 1–8.
12. Domingo, R. et al. 2017. “High-level design using Intel FPGA OpenCL: A hyperspectral imaging spatial- spectral classifier”. *International Symposium on Reconfigurable Communication-centric Systems-on-Chip (ReCoSoC)*, pp. 1–8.
13. A. A. Del Barrio and R. Hermida, "A slack-based approach to efficiently deploy radix 8 booth multipliers," *Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)*, 2017, Lausanne, 2017, pp. 1153-1158.
14. Fernández, D. et al. 2018. “Complexity reduction in the HEVC/H265 standard based on smooth region classification”. *Digital Signal Processing* vol. 73, pp. 24 – 39.
15. Fernández, D. G. et al. 2018. “Fast and effective CU size decision based on spatial and temporal homogeneity detection”. *Multimedia Tools and Applications* vol. 77 (5), pp. 5907–5927.
16. A. A. D. Barrio et al. 2016, "A Partial Carry-Save On-the-Fly Correction Multispeculative Multiplier," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 65, no. 11, pp. 3251-3264.
17. Hernández, M. 2017. “Creación de un clúster de computación científica basado en FPGAs de bajo coste y consumo”. Master’s thesis, Universidad Complutense de Madrid, Spain. <http://eprints.ucm.es/43993/>.
18. Mariano Hernández 2017. “Debian-8 with OpenCL for DE1-SoC”. <https://github.com/mariano2AA3/tfm-de1soc-opencl-cluster>. [Online; accedido 20-Marzo-2018].
19. Khronos Group 2018. “OpenCL: The Open Standard for Parallel Programming of Heterogeneous Systems”. www.khronos.org/opencl. [Online; accedido 06-Febrero-2018].
20. Mencer, O. et al. 2009. “Cube: A 512-FPGA cluster”. *Southern Conference on Programmable Logic (SPL)*, pp. 51–57.
21. Meyer-Baese, U. 2014. *Digital Signal Processing with Field Programmable Gate Arrays*. 4th ed. Springer.
22. Sass, R. et al. 2007. “Reconfigurable Computing Cluster (RCC) Project: Investigating the Feasibility of FPGA-Based Petascale Computing”. *IEEE Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM 2007)*, pp. 127–140.
23. Kim, M. S. et al. 2018. “Low-power implementation of Mitchell’s approximate logarithmic multiplication for convolutional neural networks”. *Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC)*, pp. 617–622.

24. Outervision. "Power Calculator". <https://outervision.com/power-supply-calculator>. [Online; accedido 20-Marzo-2017].

Modelling and Controlling the Kinetic and Dynamic of a Bicycle

C. Tapken ⁽¹⁾, P.Gloesekoetter ⁽¹⁾, A. Olivares ⁽³⁾, G. Olivares ⁽²⁾,

⁽¹⁾ Fachbereich Elektrotechnik und Informatik.
Münster University, Germany.

⁽²⁾ Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores
Universidad de Granada. Granada, Spain

⁽³⁾ Nazaries IT. Granada. Spain

ct500893@fh-muenster.de, peter.gloesekoetter@fh-muenster.de,
alberto.olivares@nazaries.com, gonzalo@ugr.es

Resumen. En este trabajo, se presenta el modelado y control posterior de una mini-bicicleta autónoma, que se utilizará para la enseñanza de sistemas de control. El modelo mecánico se construye inicialmente a partir de un diseño CAD y posteriormente se integra en Simulink, conjuntamente con los módulos de control. Se lleva a cabo el modelado del sistema completo, incluyendo las partes mecánicas, sensores, actuadores y la fricción de las ruedas con el suelo, consiguiéndose el mismo comportamiento que con la bicicleta física. A partir de las ecuaciones matemáticas que definen el comportamiento del sistema se diseña un controlador PID y un controlador LQG en el espacio de estados. Para verificar el modelo, los controladores diseñados se prueban también con los mismos parámetros en la mini-bicicleta física, obteniéndose un resultado idéntico.

Palabras Clave: Bicicleta autónoma, Control Digital, Control PID, control LQG, Simscape, Aprendizaje Experimental.

Abstract. In this paper, we present the modelling and subsequent control of an autonomous mini-bicycle, which will be used to teach control systems. The model is initially built from a CAD design and then integrated into Simulink, together with the control modules. The modelling of the complete system is carried out, including the mechanical parts, sensors, actuators and the friction of the wheels with the ground, achieving the same behavior as the physical bicycle. From the mathematical equations that define the behavior of the system, a PID controller and an LQG controller are designed in the state space. To verify the model, the designed controllers are tested, too. Identical parameters in the physical mini-bicycle lead to the same results in the model.

Keywords: Autonomous Bicycle, Digital-Control, PID controller, State space controller, LQG control, Simscape Multibody Simulation, Experimental Learning.

1 Introduction

The main aim of this paper is to design a bicycle model from a little existing physical bicycle, which can be used for education. Using a virtual model for teaching control systems has one main advantage; it is possible to test every controller and every configuration without damaging anything. In addition, there is the advantage that with a virtual model, a complete course with several students can experiment at a very low cost, and achieve the same learning experience than they would obtain with a physical system. Further on, teaching at home and distance learning capabilities can be mentioned. A bicycle is a good example to learn to control a system, because it is a very popular and well-known vehicle. Therefore, many people have an idea of how to control it. But it is not so easy to design a controller for this system, because it has no stable state of equilibrium and mathematical equations change with the speed of the bicycle. Due to the increased computing power of the past years, it makes sense to represent this model in a graphical fashion; this is called “multibody simulation”. This graphical simulation method has the advantage to verify the function of the controller intuitively; since it is not necessary to read and understand diagrams. Further, no mathematical equations are needed during set-up; the model can be built by drawing a CAD model and passing it to the multibody simulation software. After the creation of this virtual mechanical model, it is required to build a controller, as well as to obtain the complete and runnable model to check its controllability.

In this paper, it is shown how to set up the mathematical equations which are required to build a PID controller and a state space controller for this model. To verify the results, the controllers are verified with the physical bicycle. At the end of this paper it is shown how to develop the program for the physical bicycle and how to implement this program on an Arduino card. Therefore, it is also shown how to read all the sensors and how to control all the actuators. The bicycle model can be used to raise interest of the students, because it is not artificially made up and has direct practical reference. Additionally, it can also serve as the basis for the future construction of a real-size autonomous bicycle.

2 Physical bicycle

At first, the physical mini-bicycle is described [1]. It is a simple model, on which all the necessary parts are mounted so that it can drive autonomously. It has a motor for the driving, a servo for the steering, an encoder for controlling the speed, a sensor for measuring the inclination, an accumulator and an Arduino One card for the calculations. The already existing Arduino shield is necessary, since the Arduino board cannot drive the motor on its own. For reference: the distance between the axes is approximately 165 mm. Figure 1 shows a photograph of the model.

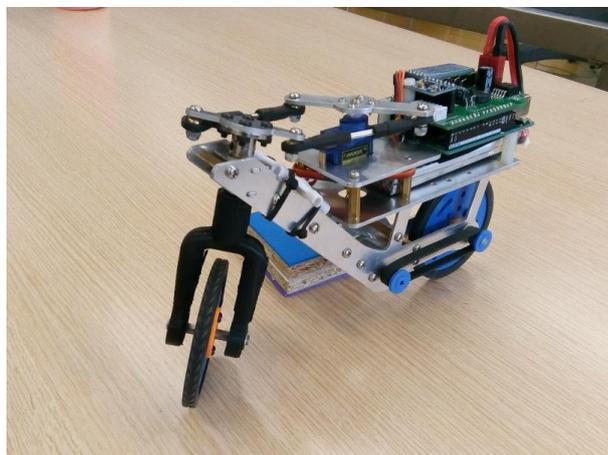


Figure 1. Physical model of the bicycle

2.1 Driving motor

In the physical model, a series DC motor with a gearbox is used. The gearbox is plugged directly to the motor shaft and on the other side of this motor there is an encoder, which will be described later in the article. It is a small motor that provides a mechanical power of about 0.3 watts only, due to the used battery voltage. The motor is mounted between the two wheels and the power transmission is handled by a timing belt.

2.2 Servo for the steering

The physical model uses a servo for steering. A servo is a combination of a motor, a gearbox, and the necessary control electronics. This kind of motor is used for example for model making, in automotive construction and in hard drives. In the physical bike a small one with a plastic gear is used. Furthermore, it is controlled with a pulse width modulation and the position can be directly specified with this signal while its integrated electronics regulate the position. The servo is mounted on top of the bike and it is connected to the handlebar with an adapter.

2.3 Arduino

Arduino is an open source hardware and software for the construction of digital devices and interactive objects [2]. The physical bicycle uses an "Arduino Uno R3" card, with an "ATmega328P device". It is a microcontroller with clock speed of 16 MHz. In addition, this board contains six pins for analog input and 14 for digital input signals. Six of them can provide a PWM output. Because the output current is limited to 20 mA, a driver is needed; at the bicycle, a "TB6612FNG" device is used [3]. This

is a “H-Bridge driver” consisting out of four transistors; it can be used to drive the motor in both directions and the speed can be controlled by pulse width modulation. This chip is mounted on an Arduino shield attached directly on the Arduino Uno card. In addition, there is a voltage transformer, a switch for the battery and some connector for the sensors and the motors on the shield.

2.4 Encoder

The physical bicycle uses an encoder which is mounted directly on the motor shaft. It consists of a magnetic disc and two Hall sensors; the sensor can be seen below.

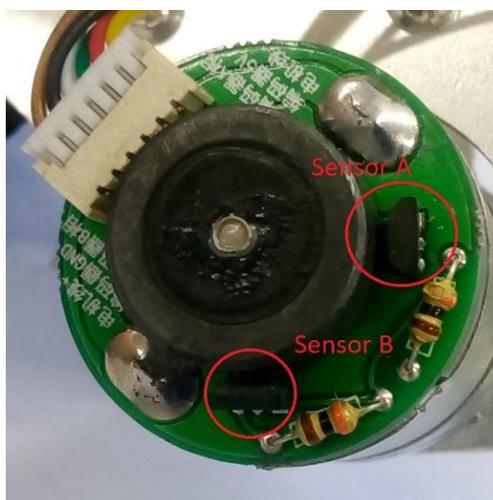


Figure 2. Encoder.

Because of the twisted mounting of the two Hall sensors it is possible to detect the direction of rotation. The sensors generate 13 pulses for a complete revolution, because there are several pairs of poles on the magnetic disk. The encoder delivers up to 1800 pulses per second in non-load operation mode.

2.4 Gyroscope and accelerometer

The physical bicycle uses a “MPU6050” integrated circuit [4] to measure the inclination. This is a six-axis motion tracking device that combines a three-axis accelerometer, a three-axis gyroscope and a microprocessor for the communication over I²C bus. A gyroscope uses the principle of angular momentum to measure rotation rate of an axis and an accelerometer measures the inertia caused by the movement of masses during linear acceleration or deceleration. We make the fusion of both sensors to measure the inclination with sufficient precision.

3 Modelling process

The first step is the modelling process. To create a model that behaves in the same way as the physical model, it is necessary to model not only the dimensions or the volume of the frame but also the motor, the servo and the friction. For the building processes, the “Autodesk Inventor Professional 2018” [5] software is used to design a CAD model. This model can be exported to a multibody simulation software, which can, in turn, simulate the graphical model. “MATLAB Simscape” [6], a toolbox included in “MATLAB Simulink” [7], is used for the latter purpose.

3.1 Bicycle model

Within the next sections, it is presented how to build the CAD model of bicycle frame and how to make it runnable inside of the multibody simulation software. Also, it is shown how to measure the inclination and the speed of the bicycle, because these values are required to build a controller.

3.1.1 CAD drawing of a simple bicycle model

At first, the CAD drawing of the bicycle must be built. This model consists of about 14 different parts and it is important to create every part with the same dimensions, the same mass and the same density as the physical bicycle to get the same behaviour. Because the CAD program calculates the mass from the density and the dimensions, it is not essential to measure the weight. This has the advantage that it is not necessary to disassemble the physical model. In “Inventor”, the connection tool can be used to add the joints. The designed CAD model is depicted in figure 3.



Figure 3. Inventor CAD model of the physical bike

In addition, a ground area must be added so the bike can ride on it and the degrees of freedom are reduced to the normal use case of a bicycle.

3.1.2 Importing the model to Simulink

The bicycle model can be imported to “Simscape Multibody”, a toolbox from “MATLAB”, by using the “Simscape Multibody Link Inventor Plug-In” [8]. Because Simscape is a toolbox which makes part of Simulink, it can be used inside a Simulink model, as a simple block diagram. The resulting block diagram can be seen in figure 4.

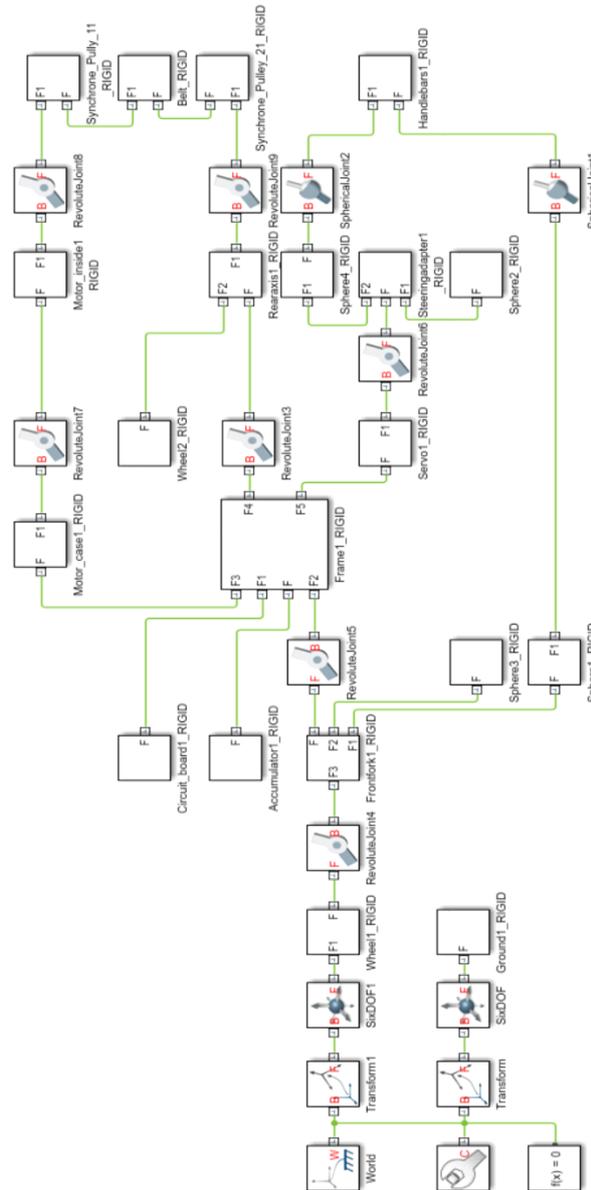


Figure 4. Simulink block diagram of the mini-bicycle model.

This model is runnable without any changes, but the problem with the connection of the wheel and the ground is still relevant, because MATLAB also has no joint for this connection. In this block diagram a joint with six degrees of freedom is used, which means that the bicycle can move in every direction and in every plane, which is not realistic. To fix the problem an additional library, called “Simscape Multibody Contact Forces Library” [9] can be employed. By using this library, it is possible to model every contact between a moving and a fix part; for example, the contact between a wheel and the ground can be modelled with the block “Spare to Plane Force”. Now, the model can move like a real bicycle. A still of the running model can be seen in figure 5.

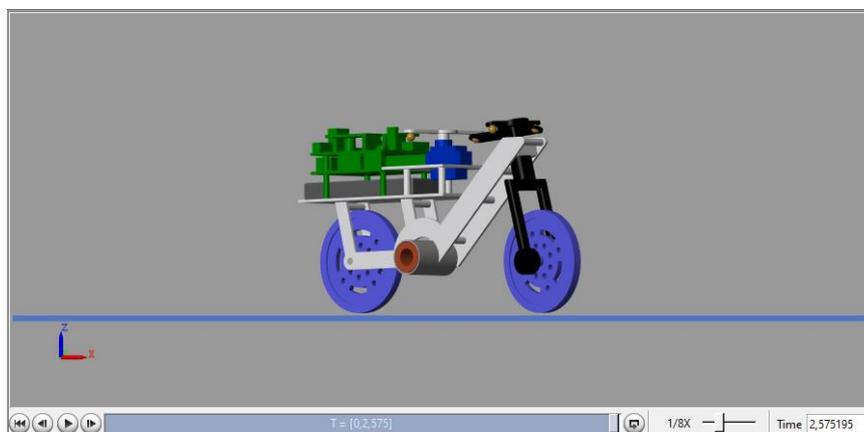


Figure 5. Simscape Multibody bicycle simple model.

The connection between the belt and the pulleys can be modelled with the CAD program, but Simscape interprets this connection as a rigid connection without movement. This is a problem since the movement of the belt is necessary, because it is the connection of the motor and the rear wheel. This problem is solved by manually building this connection with Simulink. After these manipulations, the model is runnable, except for the motor, which inclusion is discussed in detail in section 3.2.

3.1.3 Measuring the data

To control the bicycle model, it is important to measure the magnitudes which should be controlled, because these values must be returned to close the control loop. In this case, the necessary physical values are the speed of the bicycle and the inclination. Simscape has a “Transform Sensor” block, which can be used to measure physical values. This block measures the relationship between two frames. Additionally, it is possible to select which parameters should be measured. For example, the rotational and translational relationships, the velocities and the accelerations can be measured.

3.3 PWM

The speed controller of the physical bicycle is built with a pulse width modulation. To use the same speed controller for the virtual model and for the physical bicycle, it is also necessary to build a pulse width modulation. The block diagram is reflected on figure 8.

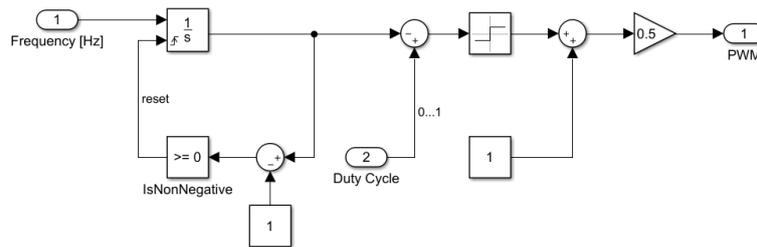


Figure 8. Block diagram of PWM modulation employed for speed control.

3.4 Steering servo

Because the servo position can be specified, and the electronics regulate the position, the servo can be modelled as a proportional element. However, no mechanical element can change the position without a time delay. As a first approximation, the servo is modelled as a “PT1 element” (a proportional element with a time constant). The servo has an important influence on the control, because it essentially determines the response time of the bicycle to the controller’s output signals. One option is to determine the servo’s delay by measuring its step response time. In our case, we measured the response time by taking a video from the motion. Then we derived the time constant during slow motion replay.

Once the servo delay is determined, all the parameters of the module are specified.

4 Controller design

It is necessary to design a control system because the bicycle is a system which has no stable state of equilibrium, i.e. without a controller this bicycle will always fall. It is also useful to set up a speed controller so that the bike can ride at a constant speed.

4.1 Theoretical foundations

To design a good controller, it is necessary to define the mathematical equations which compose it and which will, in turn, determine the value of the parameters.

4.1.1 Bicycle equations

The main difference between our bicycle and a conventional bicycle, ridden by humans, is that we can only use its inclination to maintain the balance, while humans can use their weight to change the balance point of the bike they are riding. This fact makes the necessary mathematics to be much simpler. Åström et al. [11] demonstrated that a very simple mathematical model can be used to express the behavior of a bicycle. This transfer function shows the mathematical connection between the inclination $\varphi(s)$ and the steering angle $\delta(s)$:

$$G_1(s) = \frac{\varphi(s)}{\delta(s)} = \frac{\frac{v \cdot a}{b \cdot h} s + \frac{v^2}{b \cdot h}}{s^2 - \frac{g}{h}}$$

Equation 1. Transfer function of the bike model.

Where g is the gravity acceleration, v is the bicycle speed and h is the height from de centre of the masses to the floor. The rest of parameters can be identified in Figure 9. In our case we suppose that $\lambda = 90^\circ$.

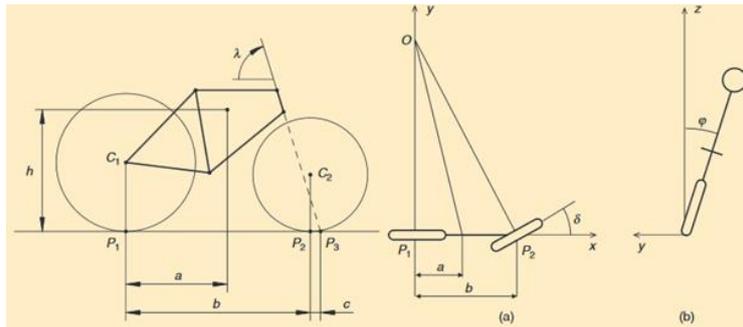


Figure 9. Bicycle geometry. Obtained from [2].

4.1.2 Servo equations

For the mathematical equation of the servo this first order transfer function from the modelling process can be used:

$$G_2(s) = \frac{K_{Servo}}{1 + T_{Servo} \cdot s}$$

Equation 2. Transfer function of the servo.

We obtained the gain K_{Servo} and the period T_{Servo} from the servo step response.

4.1.3 Steering

The servo is connected to the handlebar with an adapter, because of this, the angle of the servo isn't identical to the steering angle. Figure 10 illustrates the problem.

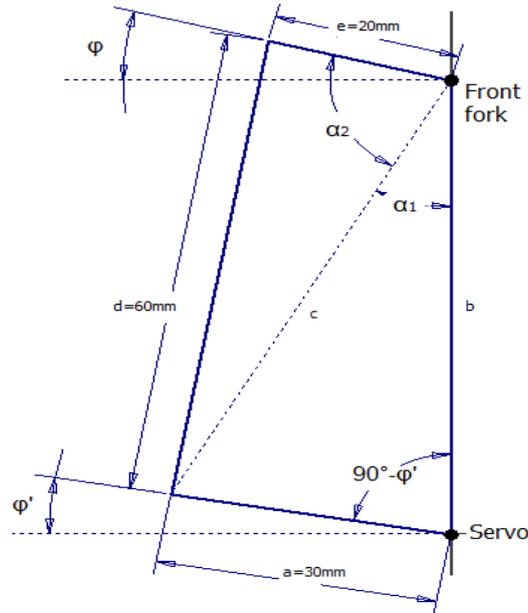


Figure 10. Adapter between servo and front fork.

By creating a diagram of the relationship between the angles, it can be shown that the steering adapter can be linearized as a proportional factor ($K_{steering}$).

4.2 PI controller for the velocity

A speed without large over or under swing is required, because the velocity has a big influence on the behaviour of the inclination control.

Initially it was necessary to obtain the parameters of the motor, and calculate its transfer function. Subsequently, the feedback loop is constructed with that transfer function and a discrete PI controller. The adjustment of the proportional and integral constants is done automatically with the "auto tune" option of the discrete PI module included in the Simulink library. A delay block to the closed loop is included, to consider the delay created by the calculation. Figure 11 shows the speed control feedback loop used to calculate PI controller parameters.

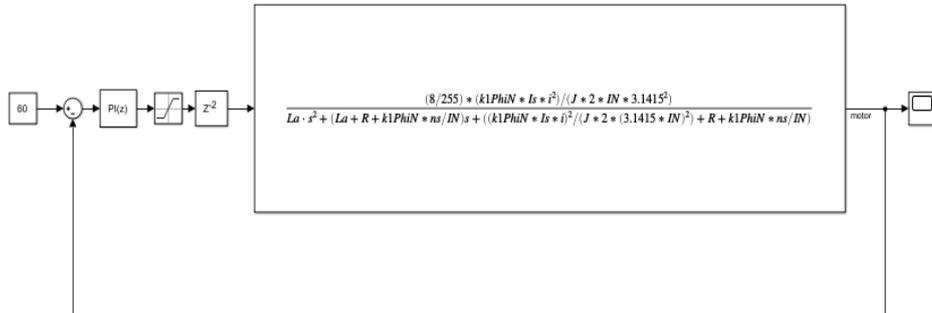


Figure 11. Simulink control loop of the bicycle speed.

The designed PI controller can now be tested using the mechanical Simscape model. The resulting step response can be seen in figure 12.

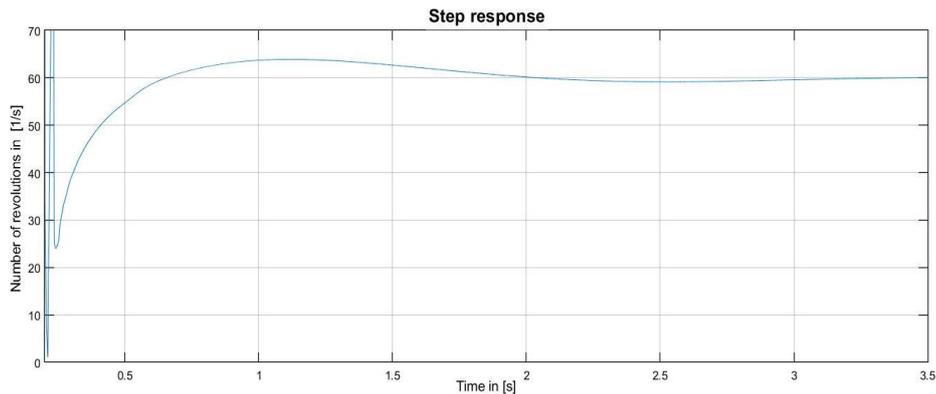


Figure 11. Step response of the driving motor.

4.3 PID controller for the inclination

Initially we designed a PID controller to regulate the inclination of the bicycle; for this, we have used the Simulink block diagram of figure 13. The numerical transfer functions of the steering servo and the bicycle are taken into account. Figure 14 shows the response of the inclination of the virtual bicycle with a 7 degrees inclination set point.

A video of the simulation can be seen in [12].

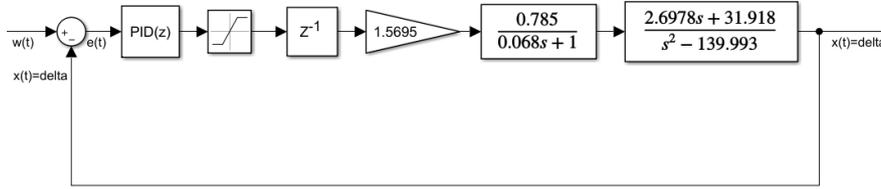


Figure 13. Feedback loop used for the calculation of the PID parameters for inclination control.

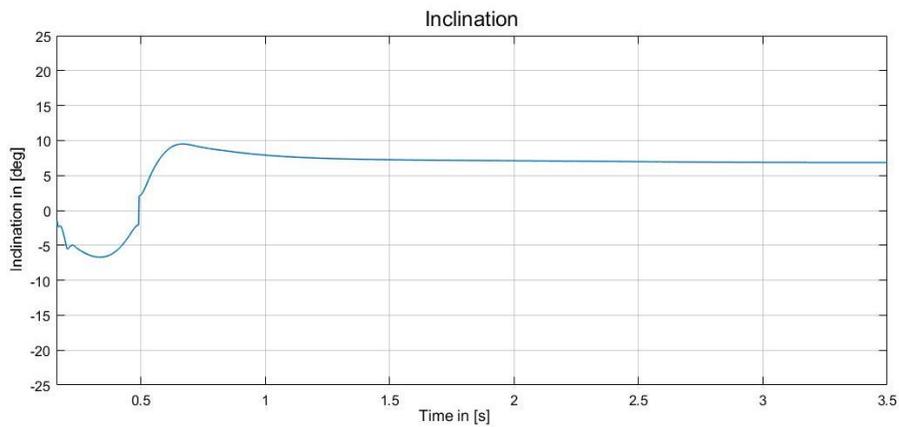


Figure 14. Inclination response for the virtual model of the bicycle for a set point of 7 degrees ($K_p=5.1$; $K_i=6.7$; $K_d=0.48$).

4.4 State space controller for the inclination

Furthermore, a state space controller is built. This controller is based on a state space representation and the states of the controlled system are estimated with an observer. These estimated states are the feedback variables of the controller. At first, a state space representation of the system to be controlled must be set up. The differential equation can be defined in an observable canonical form by using the transfer functions in equations 1 and 2 [13].

$$\dot{\underline{x}}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{g}{h \cdot T_{servo}} \\ 1 & 0 & \frac{g}{h} \\ 0 & 1 & -\frac{1}{T_{servo}} \end{bmatrix} \cdot \underline{x}(t) + \begin{bmatrix} \frac{K_{steering} \cdot K_{servo} \cdot v^2}{b \cdot h \cdot T_{servo}} \\ \frac{K_{steering} \cdot K_{servo} \cdot v \cdot a}{b \cdot h \cdot T_{servo}} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \underline{u}(t)$$

$$\underline{y}(t) = [0 \quad 0 \quad 1] \cdot \underline{x}(t) + 0 \cdot \underline{u}(t)$$

Equation 3. Space state representation of the bicycle.

Now the controller can be designed with the state space representation above. Because the states of the system don't represent physical magnitudes that are conceivable, the state space controller is designed as a linear-quadratic-gaussian regulator (LQG), which is really formed by a Kalman observer and a LQR control with the feedback of the estimated states. This is useful, because the controller can be calculated automatically and no poles must be specified. The feedback constants have been calculated with Matlab, using the order *lqr*, and testing with different values of the Q and R parameters. The Kalman filter block by Simulink is also used. It is also necessary to adjust the covariance matrices Q and R of this filter

This controller has been designed, again, as a time discrete controller so the Arduino is able to run it. The resulting block diagram from this controller and the step response can be seen in figures 15 and 16 respectively. In this case an initial alteration of the signal is appreciated, possibly due to the initial slip of the rear wheel, produced when trying to get the final speed very quickly.

A video of the simulation can also be seen under [14].

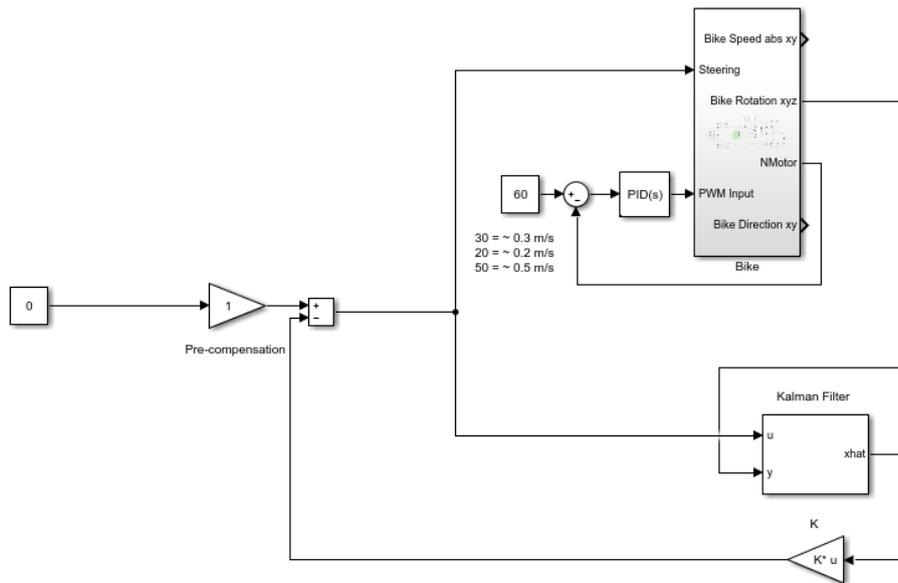


Figure 15. Block diagram of the LQG control.

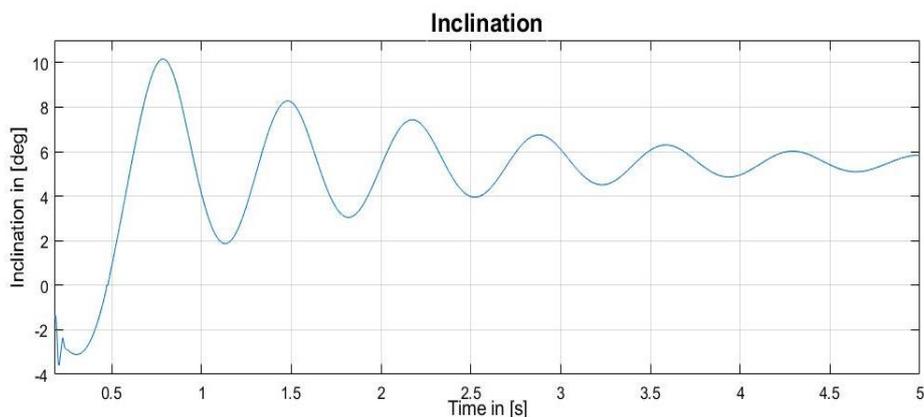


Figure 16. Diagram of the virtual bicycle inclination with the LQG controller (setup of inclination = 5 deg).

4.5 Comparison between the controllers

Now the controllers can be compared using the steering diagrams as a basis. The PID controller produces the best result, because the set point is reached earlier, but the first overshoots of both controllers are nearly equal, since they are due to the fact that initially the speed of the bicycle is not yet regulated (a minimum speed is required to maintain balance).

In addition, the disturbance reaction of the control loop is important; this can be determined by further simulations, but the resulting diagrams aren't shown here for the sake of clarity. Due to the D component, the PID controller is more aggressive than the state space controller, and as a result, the PID controller makes many more steering movements when a noise variable is switched on. However, there are no big differences in the inclination. This means that the disturbance reaction of the state space controller is a slightly better.

5 Controlling the physical bicycle

To complete this project, the designed controllers are ported to the Arduino card to test the controller set. This is useful to verify the model and the functional bicycle can be used to raise interest of the students, because it allows to show that this task is not only a constructed model without any practical reference.

5.1 Basics

It is possible to program the Arduino card directly from Simulink. This has the advantage that the designed controller can be used without big changes. However, the

block diagram must be supplemented to read the data from the sensors and to set the actuating variables. The standard Arduino Simulink library has its limitations, though. For instance, it is not possible to read the data from the accelerometer and the gyroscope with the available blocks.

5.2 Reading the sensors

To read the data from the accelerometer and the gyroscope, the library “Rensselaer Arduino Support Package Library” [15] [16], can be used. This library is designed with blocks, which call a program in C code. The C code can include other C code; for example, exiting Arduino libraries. Furthermore, the library also contains a block to read encoders; however, this block computes pulses, so it can be used to calculate angles and not the speed. Some changes in the C code, which is called by the block, are used to solve this problem.

5.3 Filtering the accelerometer and gyroscope data

The physical bicycle uses an accelerometer and a gyroscope to measure the inclination, but the accelerometer is very noisy and the gyroscope can drift. A gyroscope uses the principle of angular momentum to accurately measure rotation rate about an axis, and an accelerometer measures the stresses caused by the movement of masses during linear acceleration or deceleration. We use the fusion of both sensors to measure the inclination with sufficient precision. To combine the sensors a complementary filter or a Kalman filter can be used. The instructions of the library which is mentioned in section 5.2, show that the following block diagram for the complementary filter can be used.

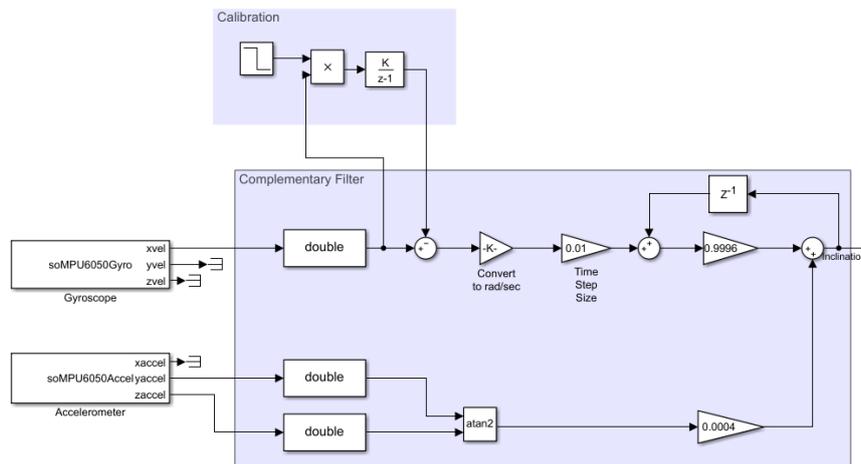


Figure 12. Block diagram of the complementary filter.

This block diagram includes also a calibration, because the gyroscope has always a bias and this amount depends on each device and can change with the temperature. So, the gyroscope must be calibrated after every start. In this project, the values gathered during the first second are averaged; the resulting value is subtracted from the current value. So, it is necessary that the bicycle is in upright position during the first second. The weight of the individual sensors is set experimentally, leading to a satisfactory result.

The Kalman filter was discarded in this occasion as it needs more computation power (we use an Arduino One Card).

5.4 Writing the actuators

To make the model runnable it is also important to write the calculated actuating variables to the actuators. In the case of the physical bicycle these are the PWM signal for the motor and the angle for the servo. The Simulink standard library has the right blocks for these actuators. The PWM block needs only an input from 0 to 255 so it can be connected to the controller, and the servo block needs only the angle in degrees, so the controller can be connected to this block after converting the angle to degrees. These elements are reflected on figure 16.

5.5 Controlling the physical bicycle

Now the controller can be ported to the Arduino card. At first the speed controller is tested. The controller produces similarly good results in the physical model as in the simulation with the same parameters, but this result cannot be measured because the bicycle must move for the correct result and a cable connection also affects the signal, because the cable is pulled behind. After this step, the controllers of the inclination must be tested.

5.5.1 PID controller for the inclination

The PID controller, which is designed in section 4.3, can be added directly to this block diagram, because it is a time discrete controller. With this controller, the physical bicycle works without changing the parameters. However, this controller generates many steering movements. This can be explained by the disturbance behaviour of the PID controller, because the D component reacts very quickly to the noise. This is because many disturbances occur when the bike is moving. In this case it is also not possible to measure the data to create a diagram. Below the complete Simulink block is shown; this block diagram includes also the controller for the speed and the control of the motor driver. A video of the simulation can be seen under [17].

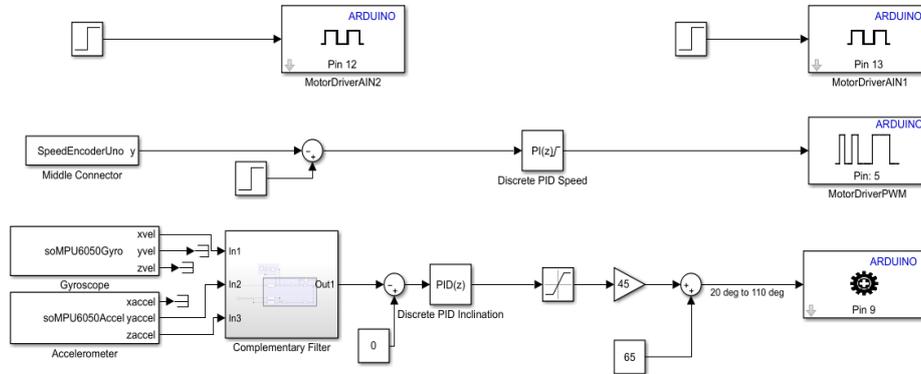


Figure 13. Block diagram of the PID controller.

5.5.2 State space controller for the inclination

In the same way as above, the state space controller can also be added directly to the block diagram. This controller works also without changing the parameters and the subjective result is slightly better. However, it is also not possible to record a diagram here. Figure 17 depicts the complete Simulink block, including the speed control block as well. A video of the simulation can be seen under [18].

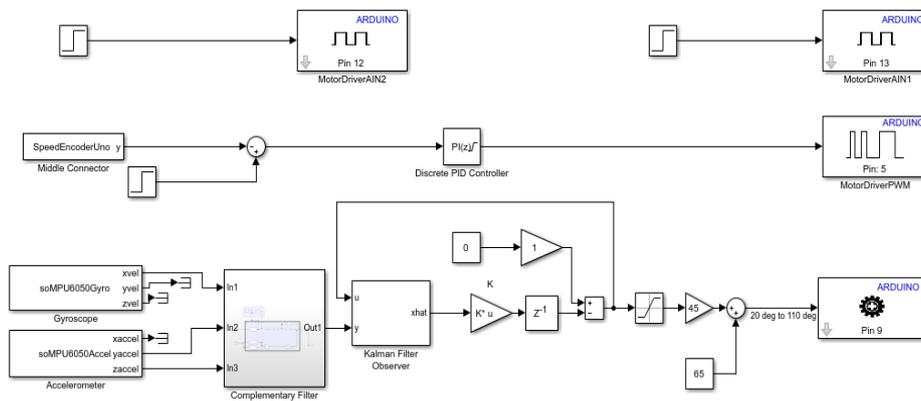


Figure 14. Block diagram of the state space controller.

6 Conclusion

The modelling of a complete autonomous mini-bicycle has been carried out, including the mechanical parts, sensors, actuators and the friction of the wheels with the ground, achieving the same behaviour as the physical bicycle.

We can conclude, then, that it is possible to create working controllers for mechatronics systems with the methods which are presented along this paper. Furthermore, the created model has shown satisfactory results leading to a matching between the behaviour of the controllers in the virtual model and in the physical bicycle.

Therefore, the created virtual model can be used for practical teaching of control technology, allowing the results to be ported directly to an Arduino board so that the students can observe the theoretical results in a real physical model.

References

- [1] Minibalace. <https://shop114407458.world.taobao.com/>.
- [2] Arduino Board Official Site. <https://www.arduino.cc/> Access: 09.07.2018.
- [3] TB6612FNG Toshiba Bi-CD Integrated Circuit. <https://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=10660&prodName=TB6612FNG>. Last accessed: 09.07.2018.
- [4] Invensense MPU 6000 Datasheet. <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>. Access: 09.07.2018.
- [5] Autodesk Inventor Official Site. <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview> Access: 04.07.2018.
- [6] Matlab Simscape Official Site. <https://es.mathworks.com/products/simscape.html> Access: 04.07.2018.
- [7] Matlab Simulink Official Site. <https://www.mathworks.com/products/simulink.html> Access: 04.07.2018.
- [8] Matlab's SMI Port function. <https://es.mathworks.com/help/physmod/sm/ref/smimport.html> Access: 04.07.2018.
- [9] Matlab Simscape Multibody Contact Forces Library. <https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47417-simscape-multibody-contact-forces-library> Access: 04.07.2018.
- [10] P. Kurzweil, B. Frenzel and F. Gebhard, Physik Formelsammlung, pp.281-282, Wiesbaden, Vieweg, 2008.
- [11] K. J. Åström, R. E. Klein and A. Lennartsson, "Bicycle Dynamics and Control", Control Systems Magazine, pp. 26-47, 01 01 2005.
- [12] Video of the simulation of the PID controller of the inclination (I/II). <https://youtu.be/dSf5DLOnZeE> Access: 09.07.2018.
- [13] J.Lunze, Regelungstechnik 1, pp. 88, 163, Springer Vieweg, 2016.
- [14] Video of the simulation of the state space controller for the inclination (I/II) <https://youtu.be/j3ycO2Lp8Mw> Access: 09.07.2018.
- [15] Rensselaer Arduino Support Package Library. <https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/62702-renselaer-arduino-support-package-library--rasplib-> Access: 04.07.2018.

- [16] The Miniature Balancing Robot Kit for Education. Downloads page.
<https://minseg.com/pages/downloads> Access: 04.07.2018.
- [17] Video of the simulation of the PID controller for the inclination (II/II).
<https://youtu.be/VZ02BhqNuk> Access: 10.07.2018.
- [18] Video of the simulation of the state space controller for the inclination (II/II).
<https://youtu.be/CNUgtSXgdqA> Access: 10.07.2018.
- [19] N. H. Getz and J. E. Marsden, "Control for an Autonomous Bicycle", 27.05.1995.
- [20] L. Keo and M. Yamakita, "Controller Design of an Autonomous Bicycle with Both Steering and Balancer Controls", 10.08.2009.
- [21] M. Sasaki, H. Tanaka and S. Ito, "Development of an Autonomous Two-Wheeled Vehicle Robot", 22.12.2011.
- [22] A. Owczarkowski, D. Horla, P. Kozierski and T. Sadalla, "Dynamic Modeling and Simulation of a Bicycle Stabilized by LQR Control".
- [23] Y. Feng, R. Dum Y. Xu, "Steering Angle Balance Control Method for Rider-Less Bicycle Based on ADAMS", 2017.
- [24] J. Lowell, H. D. McKell, "The stability of bicycles", 7.11.1981.

Uso y difusión de la plataforma educativa SWAD / OpenSWAD en la Universidad de Granada y en el mundo

Antonio Cañas¹, Eva M. Ortigosa¹, Javier Fernández¹, Juan M. Boyero², Mancia Anguita¹, Francisco A. Ocaña³, Miguel Gea⁴, Antonio M. Fernández⁵, Jesús García⁶, Miguel Damas¹, Julio Ortega¹, Alberto Prieto¹

¹ Dpto. Arquitectura y Tecnología de Computadores, Universidad de Granada
{acanas, ortigosa, jfernand, manguita, mdamas, jortega, aprieto}@ugr.es

² OpenSWAD Association
swadroid@gmail.com

³ Dpto. dEstadística e Investigación Operativa, Universidad de Granada
focana@ugr.es

⁴ Dpto. Lenguajes y Sistemas Informáticos, Universidad de Granada
mgea@ugr.es

⁵ Dpto. Fisioterapia, Universidad de Granada
fernandez@ugr.es

⁶ Dpto. Álgebra, Universidad de Granada
jesusgm@ugr.es

Resumen. Este trabajo resume el uso y la difusión que ha tenido la plataforma de b-learning y gestión académica SWAD desde 1999 hasta 2018. SWAD ofrece herramientas de apoyo a la gestión docente y al aprendizaje, y ha sido utilizada durante 19 años por 180 000 usuarios en la Universidad de Granada (UGR). En los últimos 5 años se ofrece además de forma abierta y gratuita a través del portal OpenSWAD.org, donde ha sido utilizada por 23 000 usuarios procedentes de 1 500 instituciones educativas de todo el mundo.

Palabras Clave: plataforma educativa, LMS, sistema de gestión de aprendizaje, VLE, entorno virtual de aprendizaje, b-learning, e-learning, software libre, marketing digital.

Abstract. This work summarizes the use and dissemination of the SWAD b-learning and academic management platform from 1999 to 2018. SWAD offers tools to support teaching management and learning, and has been used for 19 years by 180,000 users at the University of Granada (UGR). In the last 5 years it is also offered in an open and free way through the portal OpenSWAD.org, where it has been used by 23,000 users from 1,500 educational institutions around the world.

Keywords: educational platform, LMS, learning management system, VLE, virtual learning environment, b-learning, e-learning, free software, digital marketing.

1 Introducción

Existe una amplia demanda de nuevas formas de soporte al aprendizaje continuo y un crecimiento del uso de los campus virtuales, no solo en docencia virtual o semipresencial, sino como apoyo a la docencia presencial. Tal demanda ha favorecido la aparición de múltiples herramientas de gestión del aprendizaje en la red. Estas herramientas web de apoyo a la docencia se dividían en la década de los 2000 en dos aproximaciones:

- *Tablones de docencia*, desarrollados por las instituciones educativas que permitían al tutor editar información básica sobre asignaturas (temario, horario, método de evaluación, bibliografía) y gestionar diversos servicios relacionados con su labor docente (descargas de material docente, mensajería interna, fichas de los estudiantes, etc.).
- *Sistemas de gestión del aprendizaje (Learning Management Systems, LMS)*. En este caso se trata de plataformas desarrolladas por terceros y utilizadas por instituciones académicas y empresas para administrar, rastrear y ofrecer cursos y programas de formación. En el origen de estas plataformas, el docente se solía limitar a elaborar los contenidos del curso y proporcionarlos a un equipo de especialistas que se encargaba de su edición. Hoy día, con su expansión a más asignaturas y las mejoras en la facilidad de uso, en general es el tutor el que se encarga también de la edición. El tutor del curso puede acceder también a diversos servicios para hacer el seguimiento y evaluación de los alumnos (chat, foros de discusión, pizarra virtual, exámenes, etc.).

En la última década las herramientas del primer grupo se han visto sustituidas paulatinamente por las del segundo, que ya no se emplean en exclusiva para cursos virtuales, sino como apoyo a cualquier tipo de curso o asignatura. En el mercado, la oferta de LMS es amplísima, con cientos de sistemas de este tipo. Se trata de uno de los sectores de software de más rápido crecimiento en la última década, y no siempre se trata de un software barato (Tabla 1). Según el informe [38] se espera que el tamaño del mercado del LMS crezca de 5 220 millones de dólares en 2016 a 15 720 millones de dólares para 2021 (una tasa anual del 24,7%). La creciente adopción del aprendizaje digital entre las organizaciones corporativas y las instituciones académicas, la tendencia *Bring Your Own Device* (BYOD) para el aprendizaje electrónico y las tecnologías emergentes como la gamificación y la realidad virtual son algunos de los principales factores impulsores del mercado LMS. El 41,7% de las compañías globales de Fortune 500 usan ahora algún tipo de tecnología educativa para formar a sus empleados [50]. Para 2019, aproximadamente la mitad de todas las clases de la universidad estarán basadas en e-learning [50]. El e-learning también es ecológico: estudios recientes realizados por la Open University han descubierto que el

e-Learning consume un 90% menos de energía que los cursos tradicionales. La cantidad de emisiones de CO₂ por estudiante también se reduce hasta en un 85% [50]. Es más que obvio que el aprendizaje en línea ha revolucionado y cambiado la forma en que consideramos la adquisición de conocimiento y competencias.

Tabla 1. Coste medio del LMS según el tamaño de la organización [41].

N.º de estudiantes	Precio medio anual	Precio medio mensual
1-25	8.800\$	730\$
26-100	15.500\$	1.300\$
101-500	18.700\$	1.500\$
501-1500	32.000\$	2.650\$
1501-5000	120.000\$	10.000\$
5000+	255.000\$	21.250\$

Existen LMS privativos y libres, de pago y gratuitos, instalables en los servidores propios del cliente o accesibles en la nube. En [24] se muestra una lista de más de 400 LMS que puede ordenarse según diversos criterios y en [49] se utilizan varios indicadores para mostrar los 20 LMS más populares de la lista anterior, destacando entre ellos Edmodo [27], Moodle [46], SAP SuccessFactors [53] y Blackboard [6]. En [30] se comparan 181 LMS ordenados según las opiniones de los usuarios o según sus funcionalidades. En [29] se muestra una lista con más de una decena de LMS ordenados según diversos indicadores. En [33] se enumeran las principales características de 19 LMS que, o bien tienen una versión gratuita básica con la opción de pagar por funciones adicionales, o son totalmente gratuitos, o son de código abierto. Entre estos sistemas se encuentra nuestra propia plataforma, SWAD/OpenSWAD, a la que dedicamos el resto de este trabajo.

La sección 2 introduce la funcionalidad de SWAD. La sección 3 muestra su historia y crecimiento en la UGR. La sección 4 muestra el desarrollo y difusión del portal OpenSWAD.org. En la sección 5 se resume lo que se ha publicado sobre SWAD. Por último, la sección 6 presenta algunas conclusiones de esta experiencia.

2 La plataforma educativa SWAD

SWAD (*Social Workspace At a Distance*) [22, 13, 11] es una plataforma educativa libre que puede usarse como apoyo a la enseñanza presencial o a la enseñanza mixta y que incluye características de redes sociales.

SWAD ofrece a los profesores un espacio para alojar los materiales de sus asignaturas o cursos presenciales o mixtos (*b-learning*) y para administrar a sus estudiantes y comunicarse con ellos. Entre otras características, SWAD incluye el acceso a la información de las asignaturas (guía docente, temarios, bibliografía...), almacenamiento de documentos (apuntes, presentaciones, relaciones de problemas, guiones de prácticas...), listas y fichas de estudiantes y profesores, red social, foros de discusión, actividades, proyectos, autoevaluación del estudiante por medio de test interactivos y consulta individualizada de calificaciones. Algunas de sus principales funcionalidades están también disponibles en la app para Android SWADroid [9, 13, 7, 8] y en la app para iOS iSWAD [35, 36, 4, 44, 45].

La plataforma SWAD ha sido desarrollada y utilizada en la Universidad de Granada (UGR) desde 1999 [54]. A lo largo de su desarrollo, SWAD se independizó progresivamente de una institución específica, dando como resultado una herramienta configurable. En enero de 2010, el código fuente de SWAD se publicó bajo la Licencia Pública General Affero de GNU versión 3 [18] para que pudiera instalarse en otras universidades o instituciones educativas. Desde 2012 SWAD se ofrece además de forma gratuita a otras instituciones educativas a través del portal OpenSWAD.org [21, 47].

3 SWAD en la Universidad de Granada

Este apartado se organiza del siguiente modo. En la sección 3.1 se muestra la historia de la plataforma desde 1999 a 2018 en la Universidad de Granada (UGR). La sección 3.2 muestra la evolución del uso de la plataforma en la UGR. La sección 3.3 sugiere algunas posibles razones para el crecimiento que tuvo lugar desde 2005 a 2015. Por último, la sección 3.4 muestra las principales cifras de uso en el momento de redacción de este trabajo (septiembre de 2018).

3.1 Historia de SWAD en la UGR

En septiembre de 1999 comenzó el desarrollo de una versión muy simple de la plataforma actual en la UGR. Durante los cursos 1999/2001, 2001/2002 y 2002/2003 se utilizó como tablón docente de dos asignaturas impartidas por el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores en la titulación de Ing. Informática.

En el curso 2003/2004 (desde el 17 de octubre de 2003 hasta el 24 de noviembre de 2004) SWAD aumentó su funcionalidad y difusión en el marco del Proyecto de Innovación Docente "Plataforma SWAD (Sistema Web de Apoyo a la Docencia)",

que recibió una Mención Honorífica a la Innovación Docente 2005 en la UGR. Dentro de ese primer proyecto, SWAD se ofreció de forma gratuita a la UGR y comenzó a adoptarse en un pequeño número de asignaturas impartidas por el Dpto de Arquitectura y Tecnología de Computadores en Ing. Informática y Electrónica.

En los cursos 2004/2005 y 2005/2006 (del 31 de enero de 2005 al 14 de julio de 2006) se llevó a cabo un segundo Proyecto de Innovación Docente titulado “Ampliación de la plataforma de teleformación SWAD”, que permitió mejorar la funcionalidad del software y ampliar considerablemente su uso en la UGR, llegando a 500 profesores y más de 25 000 estudiantes en más de 450 asignaturas de casi todas las titulaciones de la UGR y algunos programas de doctorado, másteres y cursos de formación continua.

En los cursos 2006/2007 y 2007/2008 (desde el 6 de octubre de 2006 hasta el 6 de octubre de 2008), SWAD evolucionó dentro de un tercer Proyecto de Innovación Docente titulado “Nuevos recursos de la plataforma SWAD para la innovación docente en el EEES”, continuación de los dos proyectos anteriores. Este proyecto trató de responder a las necesidades y propuestas de los usuarios de SWAD, principalmente en aquellos aspectos relacionados con el uso de la plataforma en los planes piloto del EEES, y a una demanda continuada de incorporación de nuevos profesores y asignaturas a la plataforma.

Cuando el último de los tres proyectos de innovación docente estaba llegando a su fin, la plataforma había alcanzado el éxito suficiente como para ser aceptada como una herramienta semioficial para el apoyo docente. Durante 8 años y medio (desde febrero de 2008 a septiembre de 2016), la plataforma SWAD se integró en el Centro de Enseñanzas Virtuales de la UGR (CEVUG) como una plataforma para apoyar la enseñanza presencial. Además, desde el comienzo del curso 2009-2010 hasta el final del curso 2015-2016, SWAD fue una de las herramientas de PRADO (Plataforma de Recursos de Apoyo a la Docencia) [12], un servicio web que permitía por un lado el acceso con una sola contraseña al Tablón Docente de la UGR, a SWAD, y a una plataforma de enseñanza virtual basada en Moodle y utilizada principalmente para e-learning, y por otro la compartición de datos oficiales de asignaturas y estudiantes de las tres plataformas. La Figura 1 muestra esta evolución de forma esquemática.

En 2016, la UGR decidió apostar solo por PRADO2, una nueva plataforma basada en Moodle, como único Sistema de Gestión del Aprendizaje (LMS) con respaldo institucional. El 20 de septiembre de 2016, fecha del inicio del curso 2016-2017, PRADO2 se convirtió en la única plataforma educativa oficial para apoyar la enseñanza de la UGR, y SWAD volvió a su sede original, el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores, con un nuevo servidor dedicado [17], donde actualmente continúa dando servicio a cualquier asignatura y profesor que lo requiera.

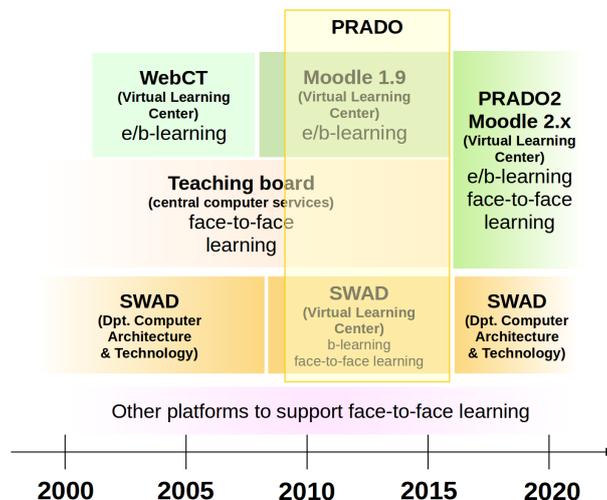


Figura 1. SWAD [54] dentro del espacio de plataformas en la UGR desde 1999.

A lo largo de su desarrollo SWAD fue evolucionando progresivamente hacia una herramienta independiente de una institución específica, convirtiéndose en una herramienta configurable para cualquier institución educativa. En enero de 2010, el código fuente de SWAD se publicó bajo la Licencia Pública General Affero de GNU versión 3 [18], y puede descargarse [14] e instalarse [15] en otras universidades o instituciones educativas. Hoy, SWAD no solo se usa en la UGR. En abril de 2012 se lanzó el proyecto OpenSWAD [21, 47], una plataforma en la nube gratuita para cualquier institución.

La mejora en el crecimiento de usuarios y asignaturas es evidente al comparar las cifras de uso en las fechas de finalización de los tres proyectos de innovación docente mencionados y la fecha actual: 15 cursos, 12 profesores y 822 estudiantes al final del primer proyecto; 454 asignaturas, 519 profesores y 25 179 estudiantes al final del segundo proyecto; 1 193 asignaturas, 1 196 profesores y 40 722 estudiantes al final del tercer proyecto; y 7 335 asignaturas, 3 411 profesores y 121 581 estudiantes en septiembre de 2018.

3.2 Evolución del uso de SWAD en la UGR

Esta sección muestra la evolución del uso de la plataforma en la Universidad de Granada desde 2005 a 2018 (hasta 2004 el uso fue comparativamente bajo y no se recopilaban estadísticas detalladas).

Las Figuras 2 y 3 muestran el número de páginas vistas y el número de usuarios únicos por semana, respectivamente, de 2005 a 2018, con picos de más de 2 millones

de páginas vistas y 30 000 usuarios únicos en una semana. La caída progresiva desde 2015 se debe a que la UGR decidió apostar por otra plataforma, PRADO2, como la única plataforma de enseñanza con apoyo institucional, por lo que muchos docentes de la UGR han ido abandonado SWAD.

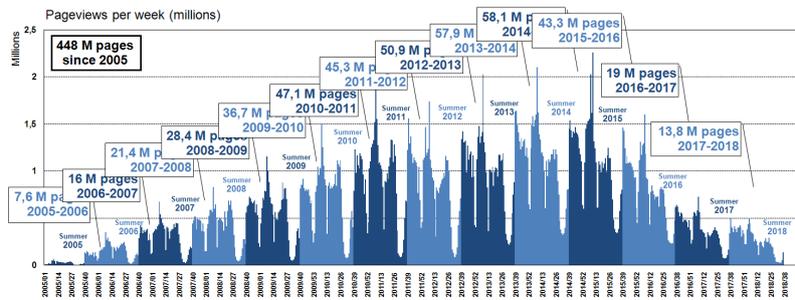


Figura 2. Páginas vistas por semana en SWAD-UGR desde 2005 hasta 2018.

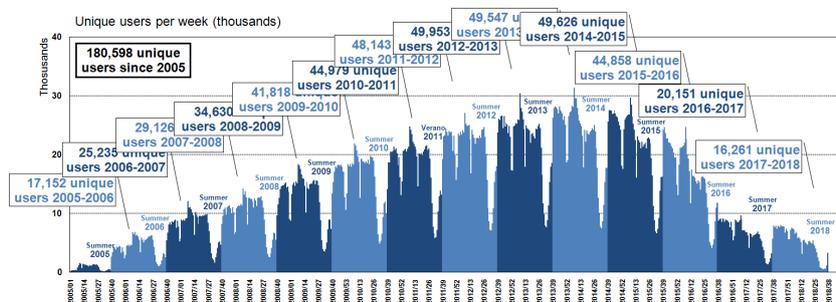


Figura 3. Usuarios únicos por semana en SWAD-UGR desde 2005 hasta 2018.

La Figura 4 muestra la evolución del número de titulaciones (incluidos másteres y otros cursos) y de asignaturas de 2004 a 2018. El estancamiento en los últimos 4 años se debe a la razón antes mencionada.

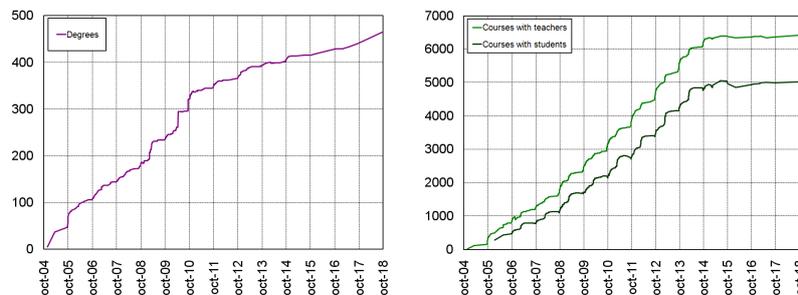


Figura 4. N.º de titulaciones y asignaturas en SWAD-UGR desde 2004.

Desde 2009 la UGR ha firmado un contrato-programa anual con la Junta de Andalucía, comprometiéndose a cumplir ciertos objetivos. Entre ellos, un cierto porcentaje de cursos debe tener presencia en internet. El gobierno regional considera que un curso está en internet si supera 5 indicadores de calidad. La plataforma SWAD calcula automáticamente estos 5 indicadores. La Figura 5 muestra la evolución en el número de asignaturas en SWAD-UGR que cumplen los 5 indicadores, y los porcentajes de asignaturas que cumplen 5, 4, 3, 2, 1 o ninguno de los indicadores.

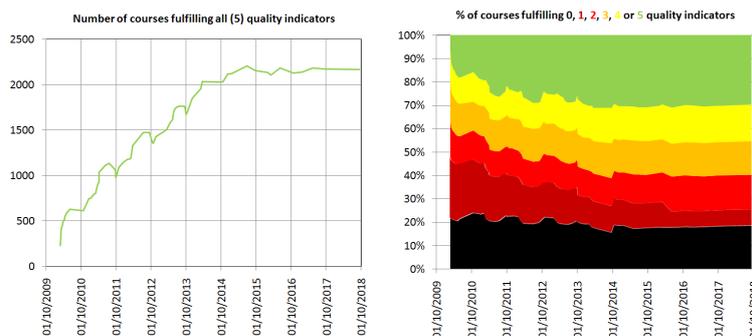


Figura 5. N.º de asignaturas que satisfacen 5 indicadores de calidad y porcentaje de asignaturas que satisfacen de 0 a 5 indicadores en SWAD-UGR desde 2009.

La Figura 6 muestra la evolución en el número de profesores y estudiantes inscritos en asignaturas. El número final de profesores en la plataforma coincide aproximadamente con el número de profesores de la UGR. El número actual de estudiantes en la plataforma es mucho más alto que el número de matriculados en la UGR porque muchos estudiantes no eliminan su inscripción en asignaturas antiguas.

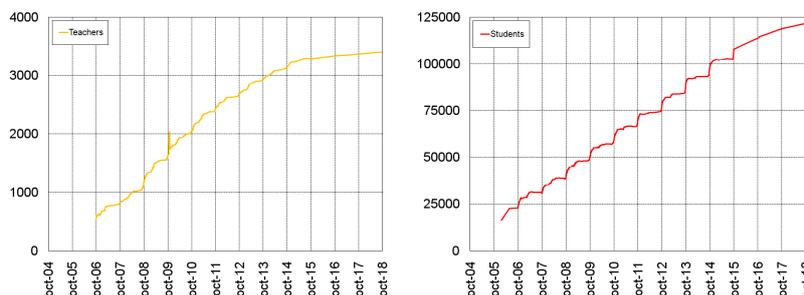


Figura 6. N.º de profesores y estudiantes inscritos en SWAD-UGR desde 2006.

La Figura 7 muestra el número de profesores y estudiantes que realmente han utilizado la plataforma en los últimos 13 cursos académicos. La disminución en los últimos años se debe a dos razones: hay menos estudiantes matriculados en la UGR debido al cambio de licenciaturas a grados y muchos profesores han cambiado SWAD-UGR por la plataforma oficial PRADO2.

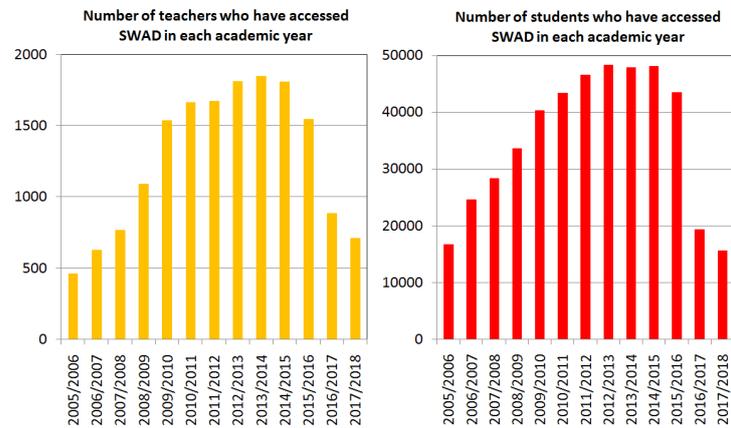


Figura 7. N.º de profesores y estudiantes únicos que han accedido a SWAD-UGR en los últimos 13 cursos (2005/2006 a 2017/2018).

La gráfica superior de la Figura 8 muestra la evolución del número promedio de asignaturas por usuario, y las gráficas inferiores muestran la evolución del número promedio de profesores y estudiantes por asignatura.

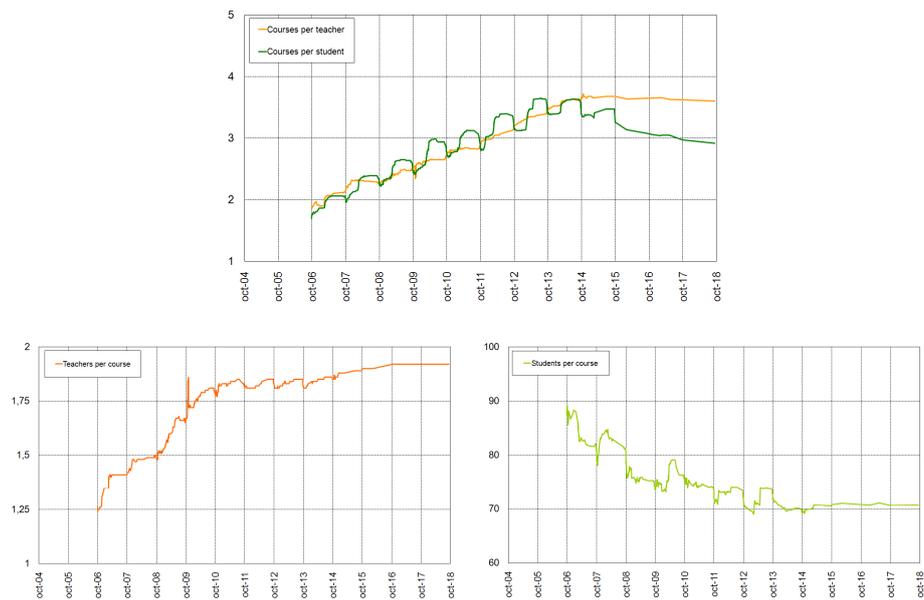


Figura 8. Asignaturas por usuario (arriba) y usuarios por asignatura (abajo) en SWAD-UGR desde 2006.

Finalmente, las Tablas 2 y 3 muestran algunas cifras sobre el número de usuarios y el número y tamaño de las carpetas y archivos alojados en la plataforma.

Tabla 2. Usuarios inscritos en SWAD-UGR (sep. 2018) [54].

Usuarios	Nº de usuarios	Nº medio de asignaturas a las que pertenece cada usuario	Nº medio de usuarios que pertenecen a cada asignatura
Estudiantes	121581	2,91	70,87
Profesores no editores	158	1,36	23,89
Profesores	3411	3,59	1,91
Total	124606	2,94	53,84
Invitados	12229	0,00	0,00

Tabla 3. Carpetas y archivos en SWAD-UGR (sep. 2018) [54].

Zonas de archivos	Asignaturas	Grupos	Usuarios	Máx. niveles	Carpetas	Archivos	Tamaño	Carpetas/ asg.	Archivos/ asg.	Tamaño/ asg.	Carpetas/ usr.	Archivos/ usr.	Tamaño/ usr.
Documentos (asg.)	5267	-	-	9	31547	147467	390,5 GiB	6,0	28,0	75,9 MiB	-	-	-
Documentos (grp.)	155	544	-	5	1151	4278	7,2 GiB	7,4	27,6	47,8 MiB	-	-	-
Privados (asg.)	704	-	-	5	79	448	2,4 GiB	0,1	0,6	3,5 MiB	-	-	-
Privados (grp.)	26	74	-	3	10	57	24,6 MiB	0,4	2,2	968,4 KiB	-	-	-
Compartidos (asg.)	5059	-	-	10	7780	45192	171,9 GiB	1,5	8,9	34,8 MiB	-	-	-
Compartidos (grp.)	236	864	-	7	555	3838	4,1 GiB	2,4	16,3	17,9 MiB	-	-	-
Calificaciones (asg.)	2535	-	-	5	922	5737	831,9 MiB	0,4	2,3	336,1 KiB	-	-	-
Calificaciones (grp.)	74	220	-	3	113	588	32,9 MiB	1,5	7,9	454,8 KiB	-	-	-
Actividades	3353	-	57244	7	234952	134384	166,3 GiB	70,1	40,1	50,8 MiB	4,1	2,3	3,0 MiB
Trabajos	3920	-	62197	9	32071	286429	377,6 GiB	8,2	73,1	98,6 MiB	0,5	4,6	6,2 MiB
Total	5972	1098	-	10	250005	626388	1,1 TiB	41,9	104,9	191,7 MiB	-	-	-
Zonas de archivos	Asignaturas	Grupos	Usuarios	Máx. niveles	Carpetas	Archivos	Tamaño	Carpetas/ asg.	Archivos/ asg.	Tamaño/ asg.	Carpetas/ usr.	Archivos/ usr.	Tamaño/ usr.
Maletines	-	-	26786	9	11326	72779	188,0 GiB	-	-	-	0,4	2,7	7,2 MiB

3.3 Razones del éxito en la UGR

Estas son las razones por las que pensamos que la plataforma se extendió a toda la UGR: la plataforma ha estado siempre abierta a todos (ofrecida desde 2004 a toda la comunidad universitaria), se ha realizado una extensa labor de formación a docentes (con docenas de talleres durante los primeros años en los distintos centros docentes), se ha procurado una rápida atención al usuario (con miles de preguntas resueltas por los administradores), la plataforma se desarrolla según las solicitudes de docentes y estudiantes, la administración es descentralizada (primeramente realizada por los administradores de titulaciones y luego permitiendo a cualquier usuario crear elementos de la jerarquía), y por último, por supuesto, las fortalezas propias de la herramienta: funcionalidad, usabilidad, confiabilidad, seguridad, velocidad y ligereza.

3.4 Cifras actuales en la UGR

En septiembre de 2018, SWAD-UGR aloja 465 titulaciones (incluyendo grado, posgrado y otras) con 7 335 asignaturas en total. 6 396 de estas asignaturas tienen profesores inscritos y 4 988 de ellas tienen estudiantes. En la plataforma hay 121 581

estudiantes inscritos, 3 411 profesores y 158 profesores no editores, contabilizando un total de 124 606 usuarios diferentes inscritos en asignaturas (Tabla 2). Además, hay 12 229 invitados no matriculados en ninguna asignatura. Cada estudiante está inscrito en un promedio de 2,91 asignaturas, cada profesor en un promedio de 3,59 asignaturas y cada profesor no editor en un promedio de 1,36 asignaturas. En cada asignatura hay un promedio de 70,88 estudiantes, 1,91 profesores y 23,89 profesores no editores (contabilizando solamente asignaturas con usuarios de cada rol). En total hay 626 388 documentos en las asignaturas (incluidos los trabajos entregados por los estudiantes) que ocupan 1,1 TiB, y 72 779 archivos en discos virtuales temporales de uso personal que ocupan 188 GiB (Tabla 3). Hay 32 966 preguntas de tipo test y estas preguntas se han respondido un promedio de 579,18 veces cada una, es decir, un total de 19 093 316 preguntas respondidas (Tabla 4). Se han enviado 1 902 885 mensajes personales a través de la plataforma y se habían recibido 20 590 008 copias de ellos. Existen 1 321 foros con 8 684 discusiones y 62 108 mensajes.

Tabla 4. Test de autoevaluación en SWAD-UGR (sep. 2018) [54].

Tipo de respuestas	Nº de asignaturas con preguntas de test	Nº de asignaturas con preguntas de test exportables	Nº de preguntas de test	Nº medio de preguntas de test por asignatura	Nº de veces que se ha respondido	Nº medio de veces que se ha respondido por asignatura	Nº medio de veces que se ha respondido cada pregunta	Puntuación media por pregunta (de 0 a 1)
Nº entero	30	19 (63,3%)	199	6,63	79207	2640,23	398,03	0,67
Nº real	26	14 (53,8%)	111	4,27	22674	872,08	204,27	0,44
V/F	132	70 (53,0%)	6281	47,58	1609315	12191,78	256,22	0,61
Elección única	325	144 (44,3%)	24092	74,13	15198454	46764,47	630,85	0,58
Elección múltiple	120	57 (47,5%)	1963	16,36	2164874	18040,62	1102,84	0,54
Texto	44	27 (61,4%)	320	7,27	18792	427,09	58,72	0,44
Total	406	176 (43,3%)	32966	81,20	19093316	47027,87	579,18	0,58

4 OpenSWAD

En esta sección se muestra el proceso de lanzamiento y diseminación del portal educativo OpenSWAD.org, una instalación de la plataforma educativa SWAD en la nube, disponible para cualquier país del mundo, ofrecido de forma gratuita, y con la posibilidad de albergar contenidos educativos abiertos.

La apertura de SWAD al mundo comenzó en 2010 con el lanzamiento del código fuente de SWAD bajo licencias de software libre [18]. Al mismo tiempo, la plataforma se internacionalizó, lo que incluyó tareas como desvincular el código de una institución específica, traducirlo a 9 idiomas, personalizar el formato de fechas y calendarios de acuerdo con las preferencias del usuario, y un tema muy importante:

hacer las fechas y calendarios independientes de la ubicación del servidor web para que aparezcan en la zona horaria del usuario.

Tras el lanzamiento e internacionalización del código, en 2012 se lanzó el portal OpenSWAD.org (Figura 9). Como cualquier instalación de SWAD, OpenSWAD está estructurado en una jerarquía de árbol con la plataforma o sistema como la raíz del árbol. Todos los países del mundo cuelgan de esta raíz. En cada país hay un número ilimitado de instituciones educativas (universidades, colegios, academias, organizaciones, empresas). Cada institución se compone de centros (facultades, escuelas, divisiones, edificios), cada centro de titulaciones (carreras, posgrados, másteres, ciclos, niveles), cada titulación de asignaturas (materias, cursos, disciplinas), cada asignatura puede estar constituida por uno o varios tipos de grupos (teoría, seminarios, prácticas de laboratorio) y en cada tipo de grupo puede haber uno o varios grupos. Para permitir una administración descentralizada y sencilla de la plataforma por parte de los usuarios, desde el principio agregamos a la base de datos más de 22 000 instituciones educativas y a partir de ahí permitimos que cualquier usuario agregue nuevos elementos a la jerarquía.

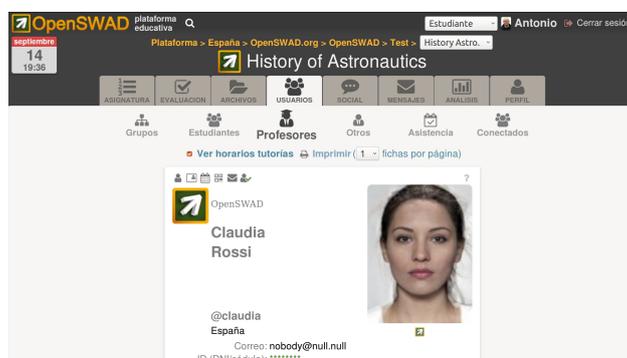


Figura 9. Captura de pantalla de OpenSWAD.org [47].

En 2016 creamos la *OpenSWAD Association* [19], una organización sin ánimo de lucro cuya misión principal es mejorar la educación en todo el mundo a través del portal OpenSWAD.org y apoyar el desarrollo del software libre SWAD y el ecosistema de aplicaciones a su alrededor, incluidas las aplicaciones para dispositivos móviles. Los objetivos de la asociación incluyen proporcionar un servicio gratuito para apoyar la enseñanza, mantener el correcto funcionamiento de la plataforma SWAD y otros servicios en el sitio web, promover el uso y publicación de Recursos Educativos Abiertos (OER) para que el conocimiento llegue a más personas, asegurar la protección de datos personales y derechos de propiedad intelectual en el sitio web, asegurar la sostenibilidad económica del proyecto, realizar actividades de publicidad y marketing para promover el uso de la plataforma en todo el mundo, coordinar a la comunidad y apoyar el desarrollo y la mejora del software.

Casi al mismo tiempo que creamos la asociación, comenzamos una nueva fase en la que publicitamos la plataforma en varios idiomas a través de Twitter, Facebook y Google AdWords. Gracias a esta publicidad, en septiembre de 2018 el portal OpenSWAD.org cuenta con más de 24 000 usuarios de 130 países y más de 2 500 asignaturas pertenecientes a instituciones educativas de 34 países, con una gran acogida en los países de habla hispana, especialmente en Venezuela y México (Figura 10). En este apartado resumimos nuestro esfuerzo en inversión publicitaria para difundir la plataforma en todo el mundo, y presentamos cifras de uso y estadísticas de acceso.

El resto de este apartado está organizado de la siguiente manera. En la sección 4.1 explicamos las razones por las que agregamos el prefijo “Open” a SWAD cuando creamos el portal OpenSWAD.org. En la sección 4.2 discutimos la dificultad de lograr que el público objetivo de la plataforma OpenSWAD conozca su existencia, y la solución basada principalmente en publicidad en las redes sociales Twitter y Facebook y el buscador Google. En la sección 4.3 presentamos la *OpenSWAD Association*. Finalmente, en la sección 4.4 mostramos resultados sobre el grado de uso que OpenSWAD está teniendo por parte de usuarios e instituciones de varios países.

4.1 Las razones de “Open” en “OpenSWAD”

Agregamos el prefijo Open a SWAD por tres razones: el código fuente está abierto bajo licencias de software libre, la plataforma permite contenido abierto, y finalmente la plataforma está abierta en la nube para todos de forma gratuita.

Software libre

El software SWAD se compone de diferentes módulos, y todos ellos se han publicado bajo licencias de software libre, por lo que la plataforma se puede utilizar en cualquier universidad o institución educativa (escuelas, institutos, academias) y otros programadores pueden contribuir a su desarrollo. Las razones por las que hemos liberado el software son las siguientes:

- Queremos que se use en otras instituciones educativas y que más usuarios y desarrolladores se unan a este proyecto.
- El software libre facilita el aprendizaje y el desarrollo colaborativo, y nos anima a programar mejor.
- Razones éticas: libertad y seguridad para los usuarios.

Todo el software puede descargarse de la página de descarga [14] respetando las licencias de software libre indicadas en cada caso, e instalarse siguiendo los pasos del procedimiento de instalación [15].

Contenido abierto

La filosofía de la plataforma SWAD es abierta en el sentido de que el usuario puede acceder a mucho contenido incluso sin estar identificado. Cualquier visitante puede ver información sobre la jerarquía (países, instituciones, centros, titulaciones y asignaturas), sobre el contenido de las asignaturas (documentos abiertos bajo Creative Commons y otras licencias abiertas, enlaces a documentos externos, guía, calendario, bibliografía, sistema de evaluación, convocatorias de exámenes, avisos), sobre ciertos usuarios (profesores, administradores), y también tiene acceso a estadísticas detalladas sobre la utilización de la plataforma.

Plataforma en la nube abierta para todos de forma gratuita

A partir de la plataforma SWAD desarrollada para la UGR, el código se independizó de ella pensando en su uso en otras instituciones. En 2010 se liberó todo el software y en 2012 se instaló la plataforma en la Universidad Nacional de Asunción (Paraguay), donde se impartieron varios talleres entre los docentes. Siguiendo las experiencias en España y Paraguay, en 2012 alquilamos un servidor dedicado para ofrecer la plataforma de forma gratuita en la nube sin necesidad de instalación local (según la encuesta publicada en [41], el 87% de los LMS usados estaban en la nube y el 13% alojados en una instalación local). Así surgió OpenSWAD.org.

4.2 Difusión de OpenSWAD en el mundo

Después de casi tres años con OpenSWAD.org en pleno funcionamiento (2012, 2013 y 2014) y pese al esfuerzo de difusión en las redes sociales, el uso de la plataforma seguía siendo anecdótico. En 2015 decidimos comenzar a invertir en publicidad, primero en Twitter [56], luego en Facebook [28] y más recientemente con Google AdWords [31]. En cada una de estas plataformas publicitarias, se invirtió un tiempo considerable en la configuración de diferentes campañas publicitarias y anuncios en español, inglés y portugués, y para muchos países de todo el mundo. Los anuncios se refinaron según los resultados que íbamos obteniendo. En la Tabla 5 se presenta un breve resumen de la inversión y los resultados en las tres plataformas publicitarias (dentro de cada una de estas plataformas publicitarias es posible realizar un análisis mucho más detallado).

En principio, puede parecer que el mejor rendimiento se ha obtenido con Facebook (por su menor coste por clic). Pero la cantidad de clics y el coste por clic no son la mejor medida para conocer el rendimiento de cada plataforma publicitaria. Estamos interesados en la conversión en términos de cantidad de cuentas y asignaturas creadas. Para mostrar esto, llevamos a cabo un experimento del 5 al 25 de septiembre de 2017 para comparar la conversión de cada una de las plataformas publicitarias. Durante 21

días se rotó la publicidad entre las tres plataformas, un día Google AdWords, el día siguiente Twitter y el tercero Facebook, y así sucesivamente, de modo que la influencia de las fechas se redujo al mínimo. En todos los casos, se usaron configuraciones de anuncios previamente refinadas. El presupuesto diario fue de 10 €, por lo que el presupuesto total de cada una de las tres plataformas fue de 70 €, aunque en Facebook fue difícil conseguir que el gasto coincidiera con el presupuesto. La Tabla 6 resume los resultados. Puede verse que Twitter es la plataforma más rentable, con Google AdWords en segundo lugar y Facebook en último lugar.

Tabla 5. Gasto en publicidad en Facebook, Twitter y Google AdWords.

	Coste	Fechas	Días	Coste/día	Impresiones	Clics	Coste/clic
Twitter	4 650,29€	12 feb 2015 – 25 sep 2017	956	4,86€	14 042 284	50 119	0,108€
Facebook	2 400,84€	26 sep 2015 – 25 sep 2017	730	3,29€	12 858 591	192 833	0,012€
AdWords	1 255,93€	16 feb 2017 – 25 sep 2017	221	5,68€	392 298	15 046	0,083€
Total	8 307,06€	12 feb 2015 – 25 sep 2017	956	8,69€	27 293 173	257 998	0,032€

Tabla 6. Experimento para comparar la conversión de cada plataforma publicitaria.

	Coste	Fechas	Días	Impresiones de anuncios	Clics	Páginas vistas	Usuarios únicos	Nuevas cuentas	Nuevas asignat.
Twitter	66,20€	6 sep 2017 – 24 sep 2017	7 9,46€ / día	271 072 0,00024€ / impresión	734 0,09€ / clic	14 632 0,0045€ / pág.	342 0,19€ / usuario	186 0,36€ / nueva cuenta	10 6,62€ / nueva asignat.
Ad- Words	65,83€	5 sep 2017 – 23 sep 2017	7 9,40€ / día	13 210 0,00498€ / impresión	808 0,08€ / clic	11 169 0,0060€ / pág.	243 0,27€ / usuario	94 0,70€ / nueva cuenta	7 9,40€ / nueva asignat.
Face- book	109,66€	7 sep 2017 – 25 sep 2017	7 15,66€ / día	148 206 0,00074€ / impresión	3 780 0,03€ / clic	33 087 0,0033€ / pág.	274 0,40€ / usuario	114 0,96€ / nueva cuenta	12 9,14€ / nueva asignat.
Total	241,69€	5 sep 2017 – 25 sep 2017	21 11,51€ / día	432 488 0,00056€ / impresión	5 322 0,05€ / clic	58 888 0,0041€ / pág.	859 0,28€ / usuario	394 0,61€ / nueva cuenta	29 8,33€ / nueva asignat.

En la Tabla 7 hemos considerado el gasto total en publicidad y lo hemos dividido por el número de usuarios y asignaturas con uso real durante el período de las campañas. Desde 2015 hasta 2017 podemos considerar que casi todos los usuarios y asignaturas creados se debieron a la inversión publicitaria. Es por eso que concluimos que obtener cada asignatura operativa tuvo un coste de aproximadamente 15 € y que cada profesor que realmente ha utilizado la plataforma en ese período supuso un coste de más de 21 €.

Tabla 7. Coste de la publicidad por asignatura y por usuario entre el 12 de febrero de 2015 y el 25 de septiembre de 2017 (956 días).

	Asignaturas	Profesores	Estudiantes	Total usuarios
Coste total	8 307,06€			
Asignat. o usuarios con uso real	528	385	1 657	18 411
Coste por asignatura o usuario	15,73€	21,58€	5,01€	0,45€

Dado que hasta el momento no ha habido retorno económico de ningún tipo sobre la inversión realizada, podemos concluir a partir de estas cifras que la publicidad es extremadamente costosa, pero sin ella es imposible llegar a los usuarios finales.

4.3 La asociación sin ánimo de lucro “OpenSWAD Association”

En nuestro esfuerzo por proporcionar una plataforma fiable y cubrir las obligaciones legales relacionadas con la protección de datos y las leyes de propiedad intelectual, en 2016 varios programadores y profesores creamos la *OpenSWAD Association*. Su misión principal es mejorar la educación en todo el mundo a través del portal OpenSWAD.org y apoyar el desarrollo del software libre SWAD y el ecosistema de aplicaciones que surjan a su alrededor. Las metas de la asociación incluyen los siguientes objetivos:

- Proporcionar un servicio gratuito para apoyar la enseñanza, administrado por los propios usuarios, en el sitio web OpenSWAD.org a través de la plataforma educativa SWAD.
- Mantener el funcionamiento adecuado, tanto del software como del hardware, de la plataforma SWAD y de otros servicios en el sitio web OpenSWAD.org.

- Promover el uso y publicación de Recursos Educativos Abiertos (*Open Educational Resources*, OER) para que el conocimiento llegue a más personas.
- Asegurar la protección de los datos personales y los derechos de propiedad intelectual en el sitio web OpenSWAD.org.
- Asegurar la sostenibilidad económica del proyecto OpenSWAD.org, cuyos costes deberían financiarse preferiblemente con contribuciones de socios, publicidad y donaciones voluntarias de los usuarios.
- Llevar a cabo actividades de publicidad y marketing para promover el uso de la plataforma OpenSWAD.org por parte de docentes e instituciones educativas de todo el mundo.
- Coordinar la comunidad OpenSWAD.
- Apoyar el desarrollo y la mejora del software SWAD [18] y el ecosistema de aplicaciones alrededor de él, incluidas las aplicaciones para dispositivos móviles (SWADroid [9], iSWAD [35] y otros).

Para cumplir estos objetivos, la asociación propone llevar a cabo las siguientes actividades, entre otras:

- Responder preguntas, sugerencias y problemas de los usuarios por correo electrónico, redes sociales y otros medios, relativas al funcionamiento del sitio web OpenSWAD.org y el software SWAD.
- Organizar conferencias, talleres y reuniones de usuarios.
- Organizar reuniones de programadores y otras actividades de programación.
- Crear y publicar manuales de usuario, presentaciones, vídeos y otra documentación en formatos abiertos para facilitar el uso de la plataforma SWAD y el ecosistema de aplicaciones alrededor de ella.

Se puede encontrar más información sobre la asociación y sus estatutos en su sitio web [19].

4.4 Uso de la plataforma OpenSWAD

Este apartado muestra el uso de la plataforma OpenSWAD en diferentes países e instituciones y el crecimiento en el número de accesos de usuarios desde 2014 a 2018.

La Figura 10 muestra los 10 principales países en OpenSWAD de acuerdo con la cantidad de usuarios de cada país. La lista está ordenada según la columna que indica

la cantidad de usuarios que afirman pertenecer a cada país. Las siguientes cuatro columnas son el número de instituciones, centros, titulaciones y asignaturas de cada país en OpenSWAD. La última columna muestra el número total de profesores y estudiantes inscritos en asignaturas.

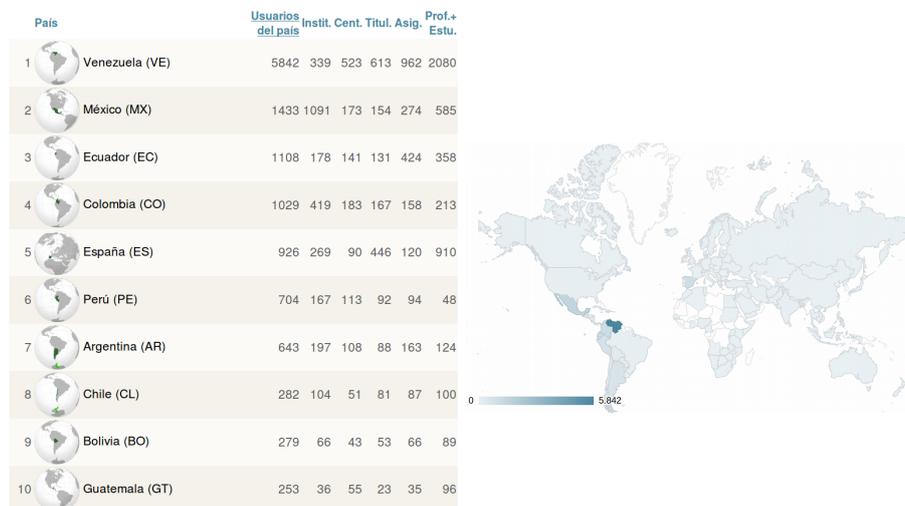


Figura 10. Primeros países en OpenSWAD según el n.º de usuarios (sep. 2018).

Los usuarios de OpenSWAD provienen de 130 países, destacando claramente Venezuela, el país donde más veces se han mostrado nuestros anuncios y donde mejor funciona la publicidad, por razones que intuimos pero que no conocemos en profundidad. En ese país incluso emitieron el 3/7/2017 un reportaje (Figura 11) realizado en Caracas y una entrevista sobre OpenSWAD en el canal de televisión Telesur [5], no solo visible en Venezuela sino en casi toda América.

La Tabla 8 muestra la jerarquía de la plataforma en OpenSWAD.org. La primera columna indica la cantidad de países, instituciones, centros, titulaciones y asignaturas. Las siguientes columnas indican cuántas instituciones, centros, titulaciones y asignaturas se han creado dentro de ellos y cuántos profesores, profesores no editores y estudiantes se han inscrito en ellos.

La Figura 12 muestra los logotipos y el número de usuarios de todas las instituciones (1573 en septiembre de 2018). Se contabilizan como usuarios de una institución aquellos que han indicado que pertenecen a la institución, no los que están inscritos en asignaturas de la institución.



Figura 11. Reportaje sobre OpenSWAD en el programa Atomun de Telesur TV (Venezuela) en julio de 2017 [5].

Tabla 8. Jerarquía de OpenSWAD (sep. 2018).

	Total Con instituciones	Con centros	Con titulaciones	Con asignaturas	Con profesores	Con profesores no editores	Con estudiantes
🌐 Países:	247	199	50	42	40	37	22
🏛️ Instituciones:	23101		953	734	630	586	108
🏠 Centros:	1704			1042	812	749	138
🎓 Titulaciones:	2071				961	880	159
📖 Asignaturas:	2562				1779	33	468



Figura 12. 1573 instituciones en OpenSWAD ordenadas según el número de usuarios que dicen pertenecer a ellas (sep. 2018).

Las Figuras 13, 14 y 15 muestran respectivamente el número de usuarios diferentes, profesores diferentes y estudiantes diferentes que han accedido a la plataforma OpenSWAD cada mes desde enero de 2014 hasta septiembre de 2018.

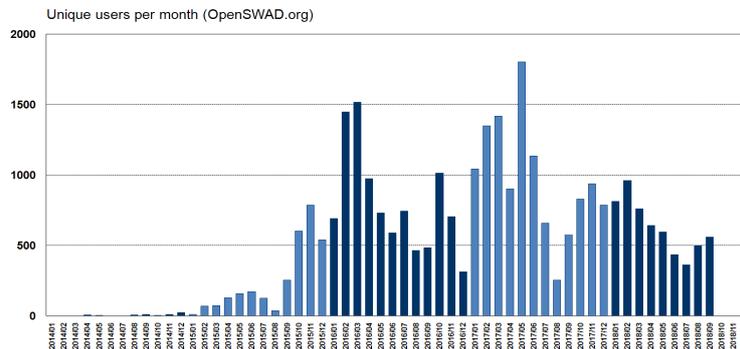


Figura 13. Usuarios únicos por mes desde enero de 2014 a septiembre de 2018.

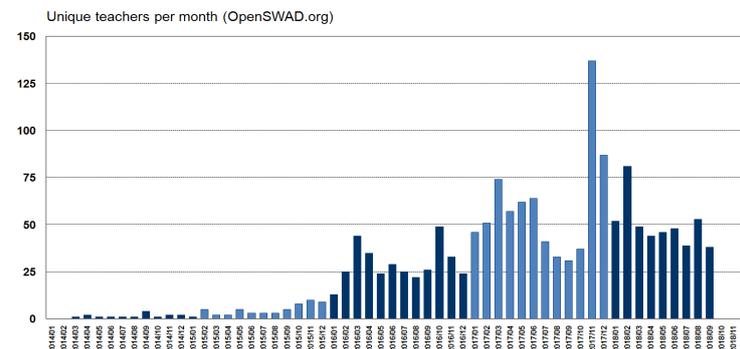


Figura 14. Profesores únicos por mes desde enero de 2014 a septiembre de 2018.

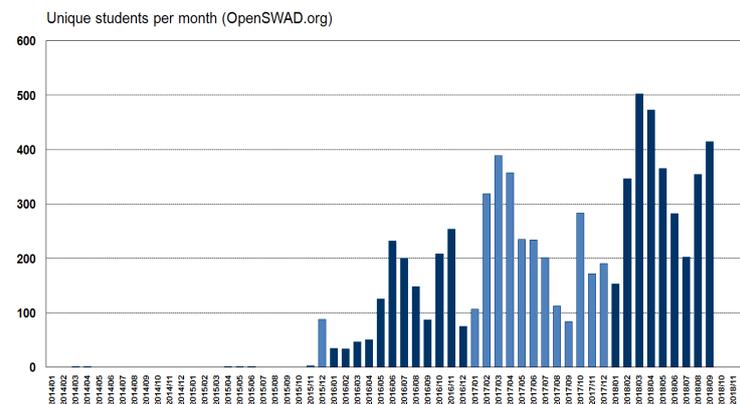


Figura 15. Estudiantes únicos por mes desde enero de 2014 a septiembre de 2018. A pesar de que en 2018 no ha habido campañas publicitarias, el uso ha aumentado.

La Tabla 9 muestra algunas cifras sobre el número total de usuarios inscritos en OpenSWAD. La primera columna muestra el número total de usuarios inscritos para cada rol (los invitados son usuarios de la plataforma que no están inscritos en ninguna asignatura). La segunda columna muestra el número promedio de asignaturas a las que pertenece cada usuario. La tercera columna muestra el número promedio de usuarios inscritos en cada asignatura.

Finalmente, la Tabla 10 muestra el número de carpetas y archivos, así como el tamaño que ocupan, en cada una de las zonas de archivos.

Tabla 9. Usuarios inscritos en OpenSWAD (sep. 2018) [47].

Usuarios	Nº de usuarios	Nº medio de asignaturas a las que pertenece cada usuario	Nº medio de usuarios que pertenecen a cada asignatura
Estudiantes	3894	1,25	10,43
Profesores no editores	8	4,38	1,06
Profesores	1187	1,63	1,08
Total	4944	1,38	3,79
Invitados	19183	0,00	0,00

Tabla 10. Carpetas y archivos en OpenSWAD (sep. 2018) [47].

Zonas de archivos	Asignaturas	Grupos	Usuarios	Máx. niveles	Carpetas	Archivos	Tamaño	Carpetas/ asg.	Archivos/ asg.	Tamaño/ asg.	Carpetas/ usr.	Archivos/ usr.	Tamaño/ usr.
Documentos (asg.)	508	-	-	5	1331	4248	15,5 GiB	2,6	8,4	31,3 MIB	-	-	-
Documentos (grp.)	15	33	-	3	20	68	18,2 MIB	1,3	4,5	1,2 MIB	-	-	-
Privados (asg.)	188	-	-	3	22	72	243,6 MIB	0,1	0,4	1,3 MIB	-	-	-
Privados (grp.)	10	12	-	2	2	2	51,3 KIB	0,2	0,2	5,1 KIB	-	-	-
Compartidos (asg.)	500	-	-	5	289	1265	2,9 GiB	0,6	2,5	6,0 MIB	-	-	-
Compartidos (grp.)	18	28	-	4	45	81	90,5 MIB	2,5	4,5	5,0 MIB	-	-	-
Calificaciones (asg.)	206	-	-	2	35	55	3,2 MIB	0,2	0,3	15,8 KIB	-	-	-
Calificaciones (grp.)	11	15	-	1	0	8	413,6 KIB	0,0	0,7	37,6 KIB	-	-	-
Actividades	183	-	1833	4	1982	918	1,2 GiB	10,8	5,0	6,8 MIB	1,1	0,5	699,0 KIB
Trabajos	183	-	1833	5	573	1453	1,6 GiB	3,1	7,9	8,9 MIB	0,3	0,8	906,6 KIB
Total	768	45	-	5	3365	8166	21,6 GiB	4,4	10,6	28,8 MIB	-	-	-
Zonas de archivos	Asignaturas	Grupos	Usuarios	Máx. niveles	Carpetas	Archivos	Tamaño	Carpetas/ asg.	Archivos/ asg.	Tamaño/ asg.	Carpetas/ usr.	Archivos/ usr.	Tamaño/ usr.
Maletines	-	-	3513	5	112	432	1,2 GiB	-	-	-	0,0	0,1	361,4 KIB

5 Publicaciones sobre SWAD

Desde que comenzó la expansión de SWAD dentro de la Universidad de Granada, varios autores, relacionados o no directamente con esta plataforma, han escrito numerosos artículos en congresos, revistas y libros que mencionan algún aspecto de SWAD. En [16] hemos compilado más de 140 de estos trabajos, clasificándolos en los siguientes grupos:

- 14 publicaciones sobre la plataforma SWAD
- 3 publicaciones sobre el sistema de procesamiento de fotografías
- 2 publicaciones sobre el sistema de chat y pizarra
- 18 publicaciones sobre SWAD en asignaturas y titulaciones específicas
- 95 publicaciones adicionales en las que está implicada en mayor o menor grado la plataforma SWAD.

Además se defendieron 8 proyectos fin de carrera (PFC) de Ing. Informática (Universidad de Granada) sobre SWAD entre 2003 y 2013:

- Jesús Álvarez Martín y Alberto E. Rodrigo Gámiz, “*Detección y mejora automática de la calidad de fotografías de tipo carne*”, dic. 2003 [2].
- Ana Belén Cara Carmona y Carlos Moreno Muñoz, “*Pizarra virtual y chat para la plataforma de educación SWAD*”, jul. 2007 [25].
- Juan Miguel Boyero Corral, “*SWADroid, un cliente Android para la plataforma de teleformación SWAD*”, jul. 2011 [10, 7, 8, 9].
- Lucas Ortiz Velasco, “*Gestión automática de páginas personales de profesores en un entorno web de gestión docente*”, sep. 2011 [48].
- Antonio Manuel Aguilera Malagón, “*SCAQR: Sistema de Control de Asistencia y calificación en prácticas basado en códigos QR y Android (SWAD)*”, jul. 2012 [1].
- Diego Montesinos Hervás, “*Cliente iOS para la plataforma de docencia SWAD*”, sep. 2012 [44, 45].
- Helena Rodríguez Gijón, “*Aplicación cliente de la plataforma SWAD para dispositivos Android*”, dic. 2012 [52].
- David Medina Godoy, “*SWADE: Editor WYSIWYG para la plataforma docente SWAD*”, sep. 2013 [40].

y 6 trabajos fin de grado (TFG) correspondientes al Grado en Ing. Informática (Universidad de Granada) entre 2014 y 2018:

- José Antonio Guerrero Avilés, “*Ampliación de SWADroid*”, sep. 2014 [32].
- Miguel Á. Cerrailo Valle, “*TriSWADos: Trivial de la UGR*”, jul. 2015 [26].
- Rubén Martín Hidalgo, “*Ampliación y mejora de la aplicación SWADroid*”, sep. 2016 [39].

- Raúl Álvarez Hinojosa, “iSWAD: Ampliación del cliente iOS para la plataforma de docencia SWAD”, sep. 2016 [3, 4].
- Adrián Lara Roldán, “Ampliación y puesta en servicio de iSWAD, aplicación cliente de la plataforma OpenSWAD.org para dispositivos móviles iOS”, sep. 2018 [34, 35, 36].
- Jesús Mesa González, “Optimización de un sistema automático de detección de caras en fotografías de tipo carné”, sep. 2018 [43].

También se han leído dos tesis doctorales relacionadas directamente con SWAD:

- “*Mantenimiento Incremental de Reglas de Asociación y sus extensiones mediante Bases de Datos Activas*” (2/dic/2016) [51], en cuyo estudio experimental se aplicaban técnicas de minería de datos para extraer reglas de asociación en la base de datos de SWAD y en otras bases de datos usando la herramienta KEEL [55, 37]. La tarea de la minería de reglas de asociación es inferir reglas que establecen asociaciones o correlaciones entre elementos de un conjunto de datos. Las reglas descubiertas en la base de datos de SWAD relacionan el número de clics, el número de archivos vistos o el número de preguntas de tipo test contestadas con la puntuación media obtenida en los exámenes de tipo test.
- “*Evaluación de las plataformas virtuales Swad y Moodle a través de indicadores de calidad*” (3/feb/2017) [42], en la que se realizaron encuestas de satisfacción a estudiantes y profesores comparando ambas plataformas. A modo de resumen la tesis concluye que, para el alumnado, ambas plataformas cumplen sus expectativas de forma general ya que se obtienen altas puntuaciones y no hay diferencias significativas en los aspectos generales de satisfacción.

6 Conclusiones

Durante 19 años hemos desarrollado la plataforma educativa SWAD en la Universidad de Granada, con gran éxito en esta institución. Para profesores y administradores, los logros alcanzados han sido realizar a través de Internet algunas de las tareas de gestión relacionadas con una asignatura y sus estudiantes, y una mejor tutoría y comunicación en general con los estudiantes. Para los estudiantes, los logros han sido un mejor acceso a los documentos y la información de las asignaturas, la posibilidad de una autoevaluación en línea, la entrega de trabajos remota y la mejora de la comunicación tanto alumno-alumno como alumno-profesor.

Casi desde su comienzo, SWAD se ofreció de forma gratuita a toda la UGR para apoyar la enseñanza presencial y fue muy bien recibida por estudiantes y profesores. Su éxito se demuestra en el crecimiento constante hasta 2015. La plataforma actualmente alberga a más de 136 000 usuarios y, a lo largo de los años, ha sido utilizada por más de 180 000 usuarios.

Desde 2015 su uso en la UGR ha disminuido debido a la existencia de una nueva plataforma oficial que cuenta con el respaldo institucional, pero esto no significa que el desarrollo haya llegado a su fin. SWAD se encuentra actualmente en un estado de desarrollo maduro y muy probado, y nuestra intención en los últimos años ha sido expandir su utilización en otros países, y por supuesto seguir mejorando y ampliando su funcionalidad. Con este objetivo de internacionalización en mente, a lo largo de su desarrollo el código se fue independizado de la UGR y se tradujo a 9 idiomas. En 2010 liberamos todo el código bajo licencias de software libre. En 2012 creamos el portal OpenSWAD.org como una instalación de SWAD abierta a todos de forma gratuita. Si bien OpenSWAD estuvo disponible desde ese año 2012, no fue hasta 2015 cuando la plataforma comenzó a llegar a usuarios e instituciones de muchos países gracias a nuestra inversión en publicidad. En 2016 creamos la *OpenSWAD Association* para continuar la expansión de la plataforma por todo el mundo. Dado que no contamos con socios inversores y la plataforma se ofrece de manera totalmente gratuita, el esfuerzo económico inicial de la inversión publicitaria ha sido importante para nosotros, pero es nuestra intención continuar invirtiendo tiempo y dinero en mejorar la funcionalidad del software y la expansión de OpenSWAD.

Durante el desarrollo de la plataforma hemos considerado criterios fundamentales la facilidad de aprendizaje y uso (usabilidad), el ahorro de tiempo y la mejora de la calidad en las tareas relacionadas con la enseñanza. SWAD tiene la ventaja adicional de ser rápido y eficiente, consumiendo muy pocos recursos informáticos, por lo que es adecuado para instalaciones de bajo coste. En comparación con herramientas similares, su implementación en C no requiere una gran infraestructura de hardware y software, incluso en grandes universidades, ya que es suficiente un solo servidor [17].

Nuestro enfoque futuro es mejorar el software SWAD para continuar ofreciéndolo a la UGR desde el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores y al mundo entero desde el portal OpenSWAD.org.

Referencias

1. A. M. Aguilera, “SCAQR: Sistema de Control de Asistencia y calificación en prácticas basado en códigos QR y Android (SWAD)”, *Proyecto Fin de Carrera, Ingeniero en Informática*, UGR, jul. 2012.

2. J. Álvarez, A. E. Rodrigo, “Detección y mejora automáticas de la calidad de fotografías de tipo carné” *Proyecto Fin de Carrera, Ingeniero en Informática*, UGR, dic. 2003.
3. R. Álvarez, “iSWAD: Ampliación del cliente iOS para la plataforma de docencia SWAD”, *Trabajo Fin de Grado, Graduado en Ing. Informática*, UGR, sep. 2016.
4. R. Álvarez, “iSWAD: iOS client for the e-learning platform SWAD.”, *GitHub*, 2016. <https://github.com/Rauleinstein/iSWAD>
5. Atomun Telesur TV, “OpenSwad: plataforma para la enseñanza”, Programa 235, 03/07/2017, Atomun Telesur TV, Caracas. <https://videos.telesurtv.net/video/666531/atomun-666531/>
<https://www.youtube.com/watch?v=BLL3ixiwp-U>
6. Blackboard <https://www.blackboard.com/>
7. J. M. Boyero, “Android client for e-learning platform SWAD”, *GitHub*. 2011-2018. <https://github.com/Amab/SWADroid>
8. J. M. Boyero, “Open Hub project SWADroid”, *OpenHub*. 2011-2018. <https://www.openhub.net/p/swadroid>
9. J. M. Boyero, “SWADroid”, *Google Play*, 2011-2018. <https://play.google.com/store/apps/details?id=es.ugr.swad.swadroid>
10. J. M. Boyero, “SWADroid, un cliente Android para la plataforma de teleformación SWAD”, *Proyecto Fin de Carrera, Ingeniero en Informática*, UGR, jul. 2011.
11. A. Cañas, D. J. Calandria, E. M. Ortigosa, E. Ros, A. F. Díaz, “SWAD: Web System for Education Support.” In *Computers And Education: E-learning - from Theory to Practice*, B. Fernández-Manjón, J. M. Sánchez Pérez, J. A. Gómez-Pulido, M. A. Vega Rodríguez, J. Bravo-Rodríguez (Eds.) Chapter 12, pp. 133-142, Springer, 2007.
12. A. Cañas, “PRADO y SWAD”. Centro de Enseñanzas Virtuales, Univ. de Granada. 16 de junio de 2010. <https://openswad.org/presentation/PRADO-SWAD.pdf>
13. A. Cañas, “SWAD: Gestión Docente en la Web y el Móvil”, *Formación virtual para el aprendizaje permanente y el intercambio cultural en el Mediterráneo*, pp. 157-171. Universidad de Granada and Université Virtuelle de Tunis. 2013. <http://elearning.ugr.es/emadraza/pdf/cap10.pdf>
14. A. Cañas, “SWAD: Download source code”, *OpenSWAD*. 1999-2018. <https://openswad.org/download/>
15. A. Cañas, “SWAD: Installing SWAD”, *OpenSWAD*. 1999-2018. <https://openswad.org/install/>
16. A. Cañas, “SWAD: Publications”, *OpenSWAD*. 1999-2018. <https://openswad.org/paper/>
17. A. Cañas, “SWAD: Server at UGR”, *SWAD-UGR*. 1999-2018. <https://swad.ugr.es/server/>

18. A. Cañas, “SWAD: Source code”, *OpenSWAD*, 1999-2018. <https://openswad.org/source/>
19. A. Cañas, J. M. Boyero, E. M. Ortigosa, M. Anguita, F. J. Fernández, “OpenSWAD Association”, 2016-2018. <https://openswad.org/association/>
20. A. Cañas, “Guía del usuario de SWAD / OpenSWAD”, 2016-2018. <https://github.com/acanas/swad-core/wiki/UserGuide.es>
21. A. Cañas, “SWAD / OpenSWAD user guide”, 2016-2018. <https://github.com/acanas/swad-core/wiki/UserGuide.en>
22. A. Cañas, D. J. Calandria, J. M. Boyero, E. M. Ortigosa, F. J. Fernández, F. A. Ocaña, “18 years of development and use of the SWAD educational platform”, In: L. Gómez Chova, A. López Martínez, I. Candel Torres, *ICERI2017 Proceedings*, IATED Academy, pp. 5070–5080, 10th annual International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI2017), Sevilla (Spain), November 16-18 2017.
23. A. Cañas, E. M. Ortigosa, J. M. Boyero, F. J. Fernández, M. Anguita, “OpenSWAD: a free social learning platform to support face-to-face and blended learning around the world”, In: L. Gómez Chova, A. López Martínez, I. Candel Torres, *ICERI2017 Proceedings*, IATED Academy, pp. 4917–4926, 10th annual International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI2017), Sevilla (Spain), November 16-18 2017.
24. Capterra, “LMS Software”, 2018. https://www.capterra.com/learning-management-system-software/?sort_options=Highest+Rated
25. A. B. Cara, C. Moreno, “Pizarra virtual y chat para la plataforma de educación SWAD”, *Proyecto Fin de Carrera, Ingeniero en Informática*, UGR, jul. 2007.
26. M. Á. Cerrailo, “TriSWADos: Trivial de la UGR”, *Trabajo Fin de Grado, Graduado en Ing. Informática*, UGR, jul. 2015.
27. Edmodo, 2018 <https://www.edmodo.com/>
28. Facebook, “Advertising on Facebook”, 2018. <https://www.facebook.com/business/products/ads>
29. FinancesOnline, “Learning Management Systems - LMS”, 2018. <https://learning-management-system.financesonline.com/>
30. GetApp, “Learning Management System (LMS) Software”, 2018. <https://www.getapp.com/education-childcare-software/learning-management-system-lms/>
31. Google, “Google PPC Online Advertising - Google AdWords”, 2018. <https://adwords.google.com/>
32. J. A. Guerrero, “Ampliación de SWADroid”, *Trabajo Fin de Grado, Graduado en Ing. Informática*, UGR, sep. 2014.

33. H. Ingwersen, "19 Free and Open Source LMSs for Corporate Training", *Capterra Training Technology Blog*, September 27th, 2017. <https://blog.capterra.com/top-8-freeopen-source-lmss/>
34. A. Lara, "Ampliación y puesta en servicio de iSWAD, aplicación cliente de la plataforma OpenSWAD.org para dispositivos móviles iOS", *Trabajo Fin de Grado, Graduado en Ing. Informática*, UGR, sep. 2018.
35. A. Lara, "iSWAD.", *App Store*, 2018. <https://itunes.apple.com/es/app/iswad/id1433797801>
36. A. Lara, "iSWAD: iOS client for the e-learning platform SWAD.", *GitHub*, 2018. <https://github.com/mitomono/iSWAD>
37. KEEL, "KEEL (Knowledge Extraction based on Evolutionary Learning)", 2004-2018. <http://www.keel.es/>
38. Markets and Markets, "Learning Management System Market by Application, Delivery Mode (Distance Learning and Instructor-Led Training), Deployment (On-Premises and Cloud), User Type (Academic and Corporate), Vertical, and Region - Global Forecast to 2021", July 2016. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/learning-management-systems-market-1266.html>
39. R. Martín, "Ampliación y mejora de la aplicación SWADroid", *Trabajo Fin de Grado, Graduado en Ing. Informática*, UGR, sep. 2016.
40. D. Medina, "SWADE: Editor WYSIWYG para la plataforma docente SWAD", *Proyecto Fin de Carrera, Ingeniero en Informática*, UGR, sep. 2013.
41. J. P. Medved, "LMS Industry User Research Report." *Capterra*, April 8 2015. <https://www.capterra.com/learning-management-system-software/user-research>
42. S. Megías, "Evaluación de las plataformas virtuales Swad y Moodle a través de indicadores de calidad", Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 3 de febrero de 2017. <http://hdl.handle.net/10481/44930>
43. J. Mesa, "Optimización de un sistema automático de detección de caras en fotografías de tipo carné", Trabajo Fin de Grado, Graduado en Ing. Informática, UGR, sep. 2018.
44. D. Montesinos, "Cliente iOS para la plataforma de docencia SWAD", *Proyecto Fin de Carrera, Ingeniero en Informática*, UGR, sep. 2012.
45. D. Montesinos, "iSWAD: iOS client for the e-learning platform SWAD.", *GitHub*, 2011–2012. <https://github.com/diegort/iSWAD>
46. Moodle, 2018 <https://moodle.org/>
47. OpenSWAD: social learning platform, 2012-2018. <https://openswad.org/>

48. L. Ortiz, “Gestión automática de páginas personales de profesores en un entorno web de gestión docente”, *Proyecto Fin de Carrera, Ingeniero en Informática*, UGR, sep. 2011.
49. M. Ortner, “Top LMS Software Solutions Infographic”, *Capterra Training Technology Blog*, November 29th, 2017. <https://blog.capterra.com/top-lms-software-solutions-infographic/>
<https://www.capterra.com/learning-management-system-software/#infographic>
50. C. Pappas, “Top 10 e-Learning Statistics for 2014 You Need To Know”, December 1, 2013. <https://elearningindustry.com/top-10-e-learning-statistics-for-2014-you-need-to-know>
51. A. Pérez, “Mantenimiento Incremental de Reglas de Asociación y sus extensiones mediante Bases de Datos Activas”, Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 2 de diciembre de 2016. <http://hdl.handle.net/10481/44475>
52. H. Rodríguez, “Aplicación cliente de la plataforma SWAD para dispositivos Android”, *Proyecto Fin de Carrera, Ingeniero en Informática*, Univ. de Granada, diciembre 2012.
53. SAP SuccessFactors, 2018. <https://www.successfactors.com/>
54. SWAD-UGR: platform to support teaching (UGR), 1999-2018. <https://swad.ugr.es/> y <https://swad.es/>
55. I. Triguero, S. González, J. M. Moyano, S. García, J. Alcalá-Fernández., J. Luengo, A. Fernández, M. J. del Jesús, L. Sánchez, F. Herrera, “KEEL 3.0: An Open Source Software for Multi-Stage Analysis in Data Mining”, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, Vol. 10 (2017) 1238–1249
56. Twitter, “Twitter Ads”. 2018. <https://ads.twitter.com/>

Funcionalidad, implementación y líneas de desarrollo de la plataforma educativa SWAD / OpenSWAD

Antonio Cañas¹, Juan M. Boyero², Daniel J. Calandria², Eva M. Ortigosa¹, Javier Fernández¹, Antonio F. Díaz¹, Samuel Romero¹, Jesús Mesa³, Adrián Lara³

¹ Dpto. Arquitectura y Tecnología de Computadores, Universidad de Granada
{acanas, ortigosa, jfernand, afdiaz, sromero}@ugr.es

² OpenSWAD Association
{swadroid, dcalandria}@gmail.com

³ETSIT, Universidad de Granada
sulimesa@gmail.com, adrilr@correo.ugr.es

Resumen. La plataforma de b-learning y gestión académica SWAD ofrece múltiples herramientas de apoyo a la gestión docente y al aprendizaje, y ha sido utilizada durante 19 años por 180 000 usuarios en la Universidad de Granada (UGR) y en los últimos 4 años por otros 23 000 usuarios procedentes de 1 500 instituciones educativas de todo el mundo. Este artículo resume las funcionalidades actuales de la plataforma y su implementación, y propone la incorporación de una serie de técnicas como son la gamificación, la geolocalización y la minería de datos con los objetivos de mejorar la motivación y el rendimiento académico de los estudiantes y de facilitar al profesorado las tareas de evaluación.

Palabras Clave: plataforma educativa, LMS, sistema de gestión de aprendizaje, VLE, entorno virtual de aprendizaje, b-learning, e-learning, software libre, servidor web, base de datos, gamificación, geolocalización, minería de datos educativa.

Abstract. The b-learning and academic management platform SWAD offers multiple tools to support teaching management and learning, and has been used for 19 years by 180,000 users at the University of Granada (UGR) and in the last 4 years by other 23,000 users from 1,500 educational institutions around the world. This article summarizes the current functionalities of the platform and its implementation, and proposes the incorporation of a series of techniques such as gamification, geolocation and data mining with the goals of improving students' motivation and academic performance, and supporting teachers in assessment tasks.

Keywords: educational platform, LMS, learning management system, VLE, virtual learning environment, b-learning, e-learning, free software, web server, database, gamification, geolocation, educational data mining.

1 Introducción

El crecimiento del uso de los campus virtuales, no solo en docencia virtual o semipresencial, sino como apoyo a la docencia presencial, ha favorecido la aparición de múltiples herramientas de gestión del aprendizaje en la red (*Learning Management Systems*, LMS). Existen cientos de LMS privativos y libres, de pago y gratuitos, instalables en los servidores propios del cliente o accesibles en la nube. En [31] se muestra una lista de más de 400 LMS que pueden ordenarse por diversos criterios y en [57] se utilizan varios indicadores para mostrar los 20 LMS más populares de la lista anterior. En [39] se comparan 181 LMS ordenados según las opiniones de los usuarios o según sus funcionalidades. En [36] se muestra una lista con más de una decena de LMS ordenados según diversos indicadores. En [41] se enumeran las principales características de 19 LMS que, o bien tienen una versión gratuita básica con la opción de pagar por funciones adicionales, o son totalmente gratuitos, o son de código abierto. Entre estos sistemas se encuentra nuestra propia plataforma, SWAD/OpenSWAD [29, 30, 14, 13], a la que dedicamos el resto de este trabajo.

A pesar del relativo éxito de estas plataformas, queda trabajo por hacer tanto en la facilidad de uso por parte de personal no técnico como en las posibilidades pedagógicas en cuanto a la mejora de los resultados académicos. Según [49], el 26% de los usuarios están insatisfechos o muy insatisfechos con su LMS actual (el 44% de ellos por la carencia de ciertas características, el 22% por la dificultad de uso, el 19% por la falta de ayuda y el 10% por el precio). En este sentido, proponemos ciertas mejoras centradas en el usuario y que supongan una ayuda real en la gestión de todas las tareas relacionadas con la docencia y el proceso de aprendizaje. Para ello incorporaremos a las funcionalidades existentes y a otras en desarrollo, características inspiradas en gamificación, geolocalización y minería de datos educativa [60].

Pretendemos desarrollar nuevos módulos de software centrados principalmente en la evaluación automática de estudiantes y complementados con otros para el diseño instructivo y colaborativo de contenidos, la autorregulación del aprendizaje, y la optimización de las comunicaciones tanto síncronas (chat) como asíncronas (mensajería y foros) entre los usuarios. En la aplicación móvil asociada a la plataforma también se añadirán nuevas funcionalidades para facilitar la evaluación por un lado —uso del móvil como mando a distancia en juegos educativos, y escaneo y subida de ejercicios—, y para la geolocalización de usuarios en interiores de edificios institucionales —para poder encontrar a compañeros o profesores en horario lectivo, o como base para otros objetivos futuros. Algunos de los nuevos módulos se basarán en minería de datos educativa, análisis del comportamiento de los usuarios en la plataforma y gamificación. El diseño de los nuevos servicios requerirá la revisión de la literatura y de otras plataformas, sin olvidar las demandas y sugerencias de los

usuarios, y se llevará a cabo buscando siempre la máxima flexibilidad de cara a facilitar su difusión y adopción en cualquier institución educativa o empresa.

El trabajo futuro también busca continuar la difusión de la plataforma en instituciones educativas de todo el mundo a través del portal OpenSWAD.org. Cada vez más aplicaciones que tradicionalmente se alojaban localmente en los servidores de una institución van pasando a la nube. Es previsible que el uso de OpenSWAD crezca, y tendremos que afrontar el reto de mantener unas prestaciones óptimas con grandes volúmenes de usuarios y accesos, tal y como hemos hecho hasta ahora en la UGR.

2 Funcionalidad de SWAD/OpenSWAD

En este apartado resumiremos la funcionalidad de la plataforma, incluyendo su estructura jerárquica, los distintos roles de los usuarios y las pestañas en las que se agrupan las funciones que se pueden realizar. Para obtener una información más detallada puede consultarse la guía del usuario [26, 27].

2.1 Organización jerárquica de SWAD/OpenSWAD

SWAD puede alojar en una única plataforma una, varias o incluso miles de instituciones educativas. Para ello utiliza la siguiente estructura jerárquica: sistema, países, instituciones (universidades, academias, organizaciones, empresas), centros (facultades, escuelas, edificios), titulaciones (grados, másteres), asignaturas (cursos, materias), tipos de grupos (conferencias, prácticas, seminarios) y grupos (A, B, mañana, tarde). El elemento central de esta jerarquía es la asignatura, que puede albergar a varios profesores y estudiantes.

2.2 Roles

Cada usuario tiene un rol de estudiante, profesor no editor o profesor en cada una de las asignaturas en las que está inscrito. Además, algunos usuarios pueden ser administradores. Estos son todos los roles disponibles: desconocido (usuario no identificado), invitado (usuario que no pertenece a ninguna asignatura), usuario (estudiante o profesor fuera de sus asignaturas), estudiante en la asignatura actual, profesor no editor en la asignatura actual (sin permiso para editar), profesor en la asignatura actual (con permiso para editar), administrador de la titulación actual,

administrador del centro actual, administrador de la institución actual y administrador del sistema.

2.3 Pestañas y opciones dentro de las pestañas

Las funcionalidades de la plataforma SWAD están organizadas en varios grupos o pestañas (Figura 1). Cada una de las pestañas contiene varias funcionalidades u opciones, que se describen a continuación. Las opciones en una pestaña están organizadas como un menú con iconos y texto, que se pueden mostrar en una fila en la parte superior de la pestaña (como muestra la Figura 1) o en una columna en el lado izquierdo de la pestaña, dependiendo de las preferencias del usuario.

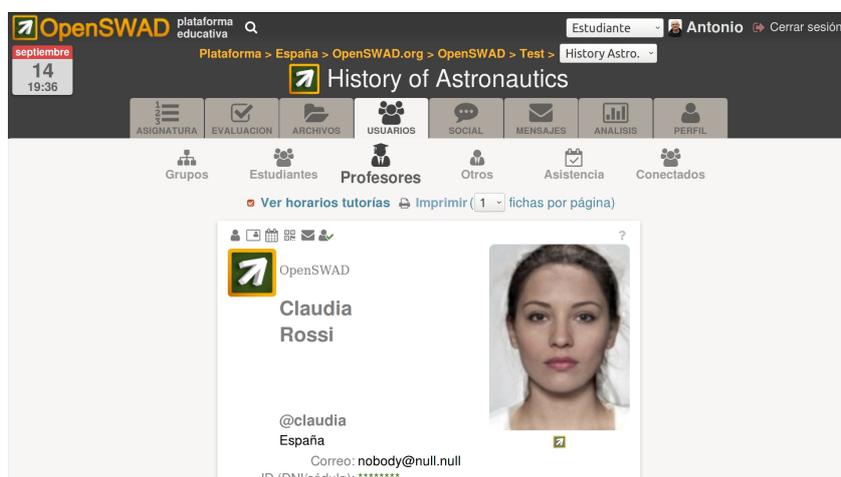


Figura 1. Captura de pantalla de OpenSWAD.org [55]. La pestaña activa en este caso es “Usuarios”, y la opción seleccionada dentro de esa pestaña es “Profesores”.

Primera pestaña: jerarquía

La primera pestaña (la que se muestra más a la izquierda) es una de estas seis:

1. *Sistema.* Configuración y administración global de países: búsqueda, listado y edición de países, lista de elementos pendientes de la jerarquía, eliminación de asignaturas antiguas no utilizadas, listado y edición de *banners*, listado y edición de enlaces del sistema, listado y edición de complementos y calendario académico.
2. *País.* Gestión de instituciones (universidades, institutos, colegios) del país seleccionado: búsqueda, información sobre el país, listado y edición de instituciones del país y calendario académico.

3. *Institución*. Gestión de centros (facultades, edificios) de la institución seleccionada: búsqueda, información sobre la institución, listado y edición de centros de la institución, listados y edición de departamentos de la institución, listado y edición de lugares (sedes o campus) de la institución, listado y edición de vacaciones en los lugares de la institución y calendario académico.
4. *Centro*. Gestión de titulaciones (carreras, estudios) del centro seleccionado: búsqueda, información sobre el centro, listado y edición de tipos de titulaciones, listado y edición de titulaciones del centro y calendario académico.
5. *Titulación*. Gestión de asignaturas (cursos, materias) de la titulación seleccionada: búsqueda, información sobre la titulación, listado y edición de asignaturas de la titulación y calendario académico.
6. *Asignatura*. Información y documentación de la asignatura seleccionada: búsqueda, información sobre la asignatura, guía docente, programa de teoría y prácticas, bibliografía, preguntas frecuentes (FAQ), enlaces, horario de clases y calendario académico.

Segunda pestaña: evaluación

Incluye las funcionalidades para la evaluación de los estudiantes en la asignatura: información sobre el sistema de evaluación, actividades, proyectos, test de autoevaluación, juegos usando el teléfono como mando a distancia, encuestas, convocatorias de exámenes y fichas de los estudiantes en la asignatura.

Tercera pestaña: archivos

Incluye las funcionalidades de subida/descarga y administración de archivos: documentos (apuntes, presentaciones, relaciones de problemas), archivos privados (solo para profesores), archivos compartidos entre estudiantes y profesores, subida y revisión de actividades y otros trabajos presentados por los estudiantes, consulta individualizada de calificaciones y maletín (disco virtual personal).

Cuarta pestaña: usuarios

Incluye las funcionalidades para la gestión de grupos y usuarios: inscripción en grupos, gestión de tipos de grupos y grupos, listas y fichas de estudiantes, edición de campos de fichas personalizados, lista de fichas incluyendo horario de tutorías de los profesores, otros (lista de administradores, listas y fichas de invitados, gestión de usuarios duplicados), administración de usuarios, control de asistencia, solicitudes de

inscripción, administración de solicitudes de inscripción, lista de usuarios conectados y últimos clics en tiempo real.

Quinta pestaña: social

Incluye funcionalidades de red social: línea de tiempo, perfiles públicos de los usuarios, foros de discusión y chat.

Sexta pestaña: mensajes

Incluye funcionalidades para la comunicación: notificaciones de eventos, listado y edición de dominios de correo electrónico permitidos para notificaciones, anuncios globales, avisos de la asignatura, mensajería web interna entre los usuarios de la plataforma (redacción de mensajes, mensajes recibidos, mensajes enviados) y correo electrónico a los estudiantes.

Séptima pestaña: estadísticas

Incluye las funcionalidades de estadística y monitorización de visitas: grandes cifras (utilización del sistema), estadísticas de titulaciones, indicadores de calidad de asignaturas, estadísticas de acceso a la asignatura (consulta por usuario, fecha, hora o acción, y lista detallada de accesos), estadísticas de acceso global (consulta por usuario, fecha, hora, acción, titulación o asignatura, y últimos clics en tiempo real), informe de uso y acciones frecuentes.

Octava pestaña: perfil

Incluye las funcionalidades de información personal del usuario identificado: registro, inicio de sesión, cambio de rol y cierre de sesión, lista de asignaturas del usuario, calendario, agenda, datos de la cuenta (apodo, correo electrónico, ID, contraseña), ficha con datos personales, institución, centro y departamento, páginas web y redes sociales, fotografía y preferencias personales.

3 Implementación eficiente de SWAD

En este apartado resumiremos la implementación actual de la plataforma, incluyendo los módulos de los que consta y las fuentes de datos. Para obtener una información más detallada pueden consultarse las páginas sobre código fuente [22], descarga del código [17], instalación [18], base de datos [16], traducción [23], API [19], registro de cambios [15] y mejoras futuras [20].

3.1 Módulos del programa

La plataforma SWAD está implementada como un programa único (realmente uno para cada idioma [23]) que utiliza la especificación CGI (*Common Gate Interface*). Este programa se ejecuta en el servidor web cada vez que un usuario hace clic en un botón o enlace dentro de la plataforma. El programa consulta la base de datos y realiza los cálculos necesarios para la acción actual, y genera todo el código HTML5 enviado a los clientes. SWAD se compone de varios módulos:

- Módulo principal (*swad-core*). El núcleo principal de SWAD implementa casi toda la funcionalidad de la plataforma, está programado en lenguaje C y usa una base de datos MySQL o MariaDB. No es habitual desarrollar una aplicación web escrita en C, pero el esfuerzo (estimado en aproximadamente 63 personas-año y con un costo de desarrollo de 3,4 millones de dólares según Open Hub [24]) se traduce en una plataforma muy ligera que permite el acceso a decenas o centenares de miles de usuarios en un solo servidor de gama media [21]. *swad-core* tiene más de 234,000 líneas de código fuente. Cada programa ejecutable (uno para cada idioma) tiene un tamaño de 2,2 MiB y en la mayor parte de las opciones genera la página en pocos milisegundos. El código fuente está disponible en GitHub [25] bajo licencia *GNU Affero GPLv3*.

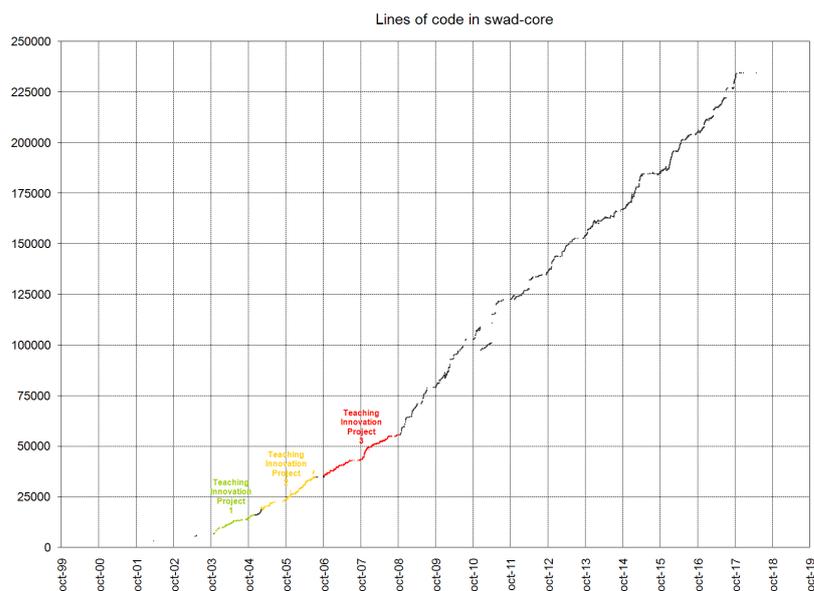


Figura 2. Número de líneas de código del módulo principal de SWAD, *swad-core*, desde 1999 hasta 2018.

La mejora continua en el número de características ofrecidas por *swad-core* se refleja en la cantidad de acciones diferentes que los usuarios pueden llevar a cabo (una acción es cada una de las posibles operaciones que un usuario puede realizar): 103 acciones al final de un primer proyecto de innovación docente en el que se difundió SWAD a la UGR (noviembre de 2004), 294 acciones al final de un segundo proyecto (julio de 2006), 515 acciones al final de un tercer proyecto (octubre de 2008) y 1350 acciones en el momento de escribir este trabajo (septiembre de 2018).

La Figura 2 muestra la evolución del número de líneas de código del módulo principal *swad-core*. Cada punto en la gráfica representa una versión. Todas las versiones se enumeran en el registro de cambios [15].

- Módulo de procesamiento de fotos (*fotomaton*). Este módulo, escrito en C++ [11, 51], detecta los rostros humanos presentes en una imagen subida por el usuario para generar la fotografía del perfil de dicho usuario. La detección de rostros se realiza mediante un clasificador en cascada [9, 51] y usa la biblioteca de visión por computador OpenCV [54]. Una vez seleccionado un rostro, el módulo también se encarga de cambiar el tamaño de la imagen y realizar diversas mejoras, como la comprobación de la claridad del fondo, la eliminación del ruido, la mejora del contraste y la saturación, y el balance de blancos.
- Módulos de promediado de fotografías (*foto_mediana* y *foto_promedio*). Las medianas y medias de las fotos de cada titulación se calculan mediante dos programas escritos en C++ [10].
- Servidor (*swad-ircd*) y cliente (*swad_chat*) de chat. El servidor de chat ha sido programado en C++ [12] y el cliente es un applet de Java [17]. Las últimas versiones de muchos navegadores ya no aceptan la ejecución de Java, por lo que estamos llevando a cabo la renovación del módulo de chat con otra tecnología.
- Aplicación para dispositivos Android (*SWADroid*). Es una app que puede descargarse de forma gratuita desde Google Play [7]. El esfuerzo de desarrollo del código de SWADroid [8, 1, 59, 40, 47] se estima en aproximadamente 9 personas-año y hubiera supuesto un coste de desarrollo de 0,5 millones de dólares según Open Hub [6]. El código fuente está disponible en GitHub [5] bajo licencias *GNU GPLv3* y *GNU LGPLv3*.
- Aplicación para dispositivos iOS (*iSWAD*). Es una app que puede descargarse de forma gratuita desde la App Store de Apple [43]. El código fuente está disponible en GitHub [44] bajo licencia *Apache License 2.0*.

Los detalles sobre la descarga del software se proporcionan en [17] y el procedimiento de instalación se detalla en [18].

La implementación de algunos de los módulos externos al núcleo de SWAD se ha llevado a cabo dentro del marco de 8 proyectos fin de carrera (PFC) de Ing. en Informática y 6 trabajos fin de grado (TFG) correspondientes al Grado en Ing. Informática, en ambos casos dentro de la Universidad de Granada, y que agrupamos a continuación según su funcionalidad:

- Procesamiento de fotografías:
 - PFC “*Detección y mejora automáticas de la calidad de fotografías de tipo carné*”, dic. 2003 [2].
 - TFG “*Optimización de un sistema automático de detección de caras en fotografías de tipo carné*”, sep. 2018 [51].
- App para Android (SWADroid):
 - PFC “*SWADroid, un cliente Android para la plataforma de teleformación SWAD*”, jul. 2011 [8, 5, 6, 7].
 - PFC “*SCAQR: Sistema de Control de Asistencia y calificación en prácticas basado en códigos QR y Android (SWAD)*”, jul. 2012 [1].
 - PFC “*Aplicación cliente de la plataforma SWAD para dispositivos Android*”, dic. 2012 [59].
 - TFG “*Ampliación de SWADroid*”, sep. 2014 [40].
 - TFG “*Ampliación y mejora de la aplicación SWADroid*”, sep. 2016 [47].
- App para iOS (iSWAD):
 - PFC “*Cliente iOS para la plataforma de docencia SWAD*”, sep. 2012 [52, 53].
 - TFG “*iSWAD: Ampliación del cliente iOS para la plataforma de docencia SWAD*”, sep. 2016 [3, 4].
 - TFG “*Ampliación y puesta en servicio de iSWAD, aplicación cliente de la plataforma OpenSWAD.org para dispositivos móviles iOS*”, sep. 2018 [42, 43, 44].
- Módulos relacionados con SWAD que no llegaron a producción o bien han dejado de usarse en versión actual:

- PFC “Pizarra virtual y chat para la plataforma de educación SWAD”, jul. 2007 [32].
- PFC “Gestión automática de páginas personales de profesores en un entorno web de gestión docente”, sep. 2011 [56].
- PFC “SWADE: Editor WYSIWYG para la plataforma docente SWAD”, sep. 2013 [48].
- TFG “TriSWADos: Trivial de la UGR”, jul. 2015 [33].

3.2 Fuentes de datos en SWAD

En este apartado detallaremos los datos que genera actualmente la plataforma SWAD y que son susceptibles de usarse en minería de datos educativa [60]. Podemos distinguir las siguientes fuentes de datos:

- Generadas por el propio programa
 - base de datos de SWAD
 - archivos subidos por usuarios (documentos, trabajos, etc.)
 - fotografías
- Generadas por el servidor web
 - registro de accesos del servidor web Apache
- Generadas externamente
 - estadísticas de visitas a la web en Google Analytics (opcional)
 - estadísticas de uso de SWADroid en Google Play
 - estadísticas de uso de iSWAD en App Store

Nos interesa centrarnos en los datos recabados por el propio programa *swad-core*, para no tener que depender de fuentes externas. A continuación daremos detalles sobre la base de datos, los archivos y las fotografías.

Base de datos

La base de datos relacional de SWAD [16] consta de 117 tablas (Figura 3). En ellas se guarda casi toda la información que maneja el software, exceptuando las fotografías y todos los archivos subidos por los usuarios. Según el tipo de información almacenado, podemos agrupar las tablas en 16 categorías que se muestran en las Tablas 1 a 16,. Es ellas se indican cifras correspondientes a las instalaciones de SWAD en la UGR [62] y en OpenSWAD.org [55] con fecha de septiembre de 2018.

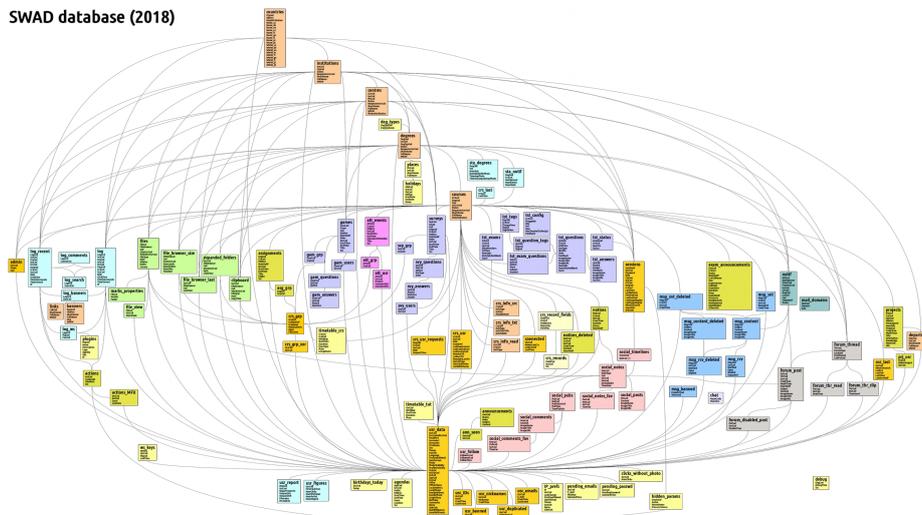


Figura 3. Base de datos de SWAD [16].

Tabla 1. Información sobre jerarquía en la base de datos (sep. 2018).

Grupo	Información	Tablas	Nº de elementos	
			SWAD-UGR	OpenSWAD
Jerarquía	<ul style="list-style-type: none"> · N.º de titulaciones en cada centro · N.º de asignaturas en cada titulación · N.º de asignaturas con usuarios · N.º de usuarios (según rol) por centro, titulación, asignatura, grupo ... 	countries	247	247
		institutions	22220	23108
		centres	104	1711
		degrees	466	2075
		courses	7347	2570
		crs_grp_types	2454	138
		crs_grp	6409	265
	<ul style="list-style-type: none"> · Relacionados con instituciones · Departamentos · Festivos 	departments	122	126
		holidays	30	0
	<ul style="list-style-type: none"> · Relacionados con centros · N.º centros y usuarios por ubicación 	places	7	943
<ul style="list-style-type: none"> · Relacionados con titulaciones · N.º de titulaciones, asignaturas y usuarios por tipo de titulación · N.º de estudiantes y fotos promedio de cada titulación 		deg_types	34	22
	sta_degrees	1704	4192	
Administradores	admin	387	329	

Tabla 2. Información sobre asignaturas en la base de datos (sep. 2018).

Grupo	Información	Tablas	Nº de elementos	
			SWAD-UGR	OpenSWAD
Información asignaturas	· Contenido de asignaturas (excepto archivos): · Info. sobre asignaturas · Guías docentes · Temarios · Bibliografía · FAQ · Enlaces · Sistema de evaluación · Quién ha leído cada info.	crs_info_src	20729	2224
		crs_info_txt	13370	1653
		crs_info_read	27873	999
	· Horarios	timetable_crs	6947	705
	· Convocatorias exámenes	exam_announcements	5308	247

Tabla 3. Información sobre actividades en la base de datos (sep. 2018).

Grupo	Información	Tablas	Nº de elementos	
			SWAD-UGR	OpenSWAD
Actividades	· N.º de actividades	assignments	8720	516
		asg_grp	2912	60

Tabla 4. Información sobre proyectos (TFG, TFM) en la base de datos (sep. 2018).

Grupo	Información	Tablas	Nº de elementos	
			SWAD-UGR	OpenSWAD
Proyectos	· N.º de proyectos · Usuarios de cada proyecto · Archivos de cada proyecto	projects	344	206
		prj_usr	1178	206

Tabla 5. Información sobre exámenes de test en la base de datos (sep. 2018).

Grupo	Información	Tablas	Nº de elementos	
			SWAD-UGR	OpenSWAD
Test	· Sobre las preguntas: · N.º de preguntas por asignatura · Tipo de preguntas · Puntuación media de preguntas	tst_questions	33281	3615
		tst_tags	2512	1239
		tst_question_tags	42724	3812
		tst_answers	113866	10411
		tst_config	472	282

		tst_status	20	29
	<ul style="list-style-type: none"> · Sobre los exámenes: · Quiénes responden · Cuándo responden · Dónde se equivocan · Trayectoria de cada estudiante 	tst_exams	94186	2402
		tst_exam_questions	1781184	27717

Tabla 6. Información sobre encuestas en la base de datos (sep. 2018).

Grupo	Información	Tablas	Nº de elementos	
			SWAD-UGR	OpenSWAD
Encuestas	<ul style="list-style-type: none"> · N.º de encuestas · N.º de encuestas por asignatura · Usuarios que han respondido · Estadísticas de las encuestas 	surveys	127	245
		svy_grp	16	8
		svy_questions	662	536
		svy_answers	3035	1952
		svy_users	4098	101

Tabla 7. Información sobre archivos en la base de datos (sep. 2018). En las Tablas 17 y 18 se muestran más detalles.

Grupo	Información	Tablas	Nº de elementos	
			SWAD-UGR	OpenSWAD
Archivos	<ul style="list-style-type: none"> · Sobre el propio archivo · Tipo · Tamaño · Licencia · Usuario que lo ha publicado · Titulación, asignatura · N.º de veces que se ha visto · Quiénes lo han visto 	files	1222789	26322
		file_view	7456103	39231
		file_browser_last	1238977	15934
		file_browser_size	350675	9861
	· Carpetas expandidas	expanded_folders	14506 <i>variable</i>	1083 <i>variable</i>
	· Portapapeles	clipboard	<i>variable</i>	<i>variable</i>
	· Propiedades tabla calificaciones	marks_properties	7444	65
	· <i>Permalinks</i> de informes de uso	usr_report	379	205

Tabla 8. Información sobre usuarios en la base de datos (sep. 2018).

Grupo	Información	Tablas	Nº de elementos	
			SWAD-UGR	OpenSWAD
Usuarios	· Sexo	usr_data	138221	24201

<ul style="list-style-type: none"> · Edad · Lugar de origen y domicilio · Perfiles en internet · Preferencias ... 	usr_IDs	144379	16147
	usr_nicknames	92503	23186
	usr_emails	126074	21795
	usr_figures	138095	24030
	usr_last	129825	22440
	usr_webs	9562	623
	usr_banned	1	0
	usr_duplicated	<i>variable</i>	<i>variable</i>
· Tutorías de profesores	timetable_tut	3897	110
· Agendas de usuarios	agendas	105	91
· Usuarios en línea	sessions	<i>variable</i>	<i>variable</i>
	connected	<i>variable</i>	<i>variable</i>
· Otros	pending_passwd	<i>variable</i>	<i>variable</i>
	pending_emails	<i>variable</i>	<i>variable</i>
	clicks_without_photo	15562	1000
	birthdays_today	<i>variable</i>	<i>variable</i>

Tabla 9. Información sobre inscripciones de usuarios en asignaturas y grupos en la base de datos (sep. 2018).

Grupo	Información	Tablas	Nº de elementos	
			SWAD-UGR	OpenSWAD
Inscripciones	<ul style="list-style-type: none"> · Usuarios por: · Institución · Centro · Titulación · Asignatura · Grupo · Asignaturas por usuario ... 	crs_usr	366758	6907
		crs_usr_requests	1238	19
		crs_last	6932	1884
		crs_grp_usr	110918	1488
	· Fichas personalizadas para cada asignatura	crs_record_fields	2015	28
		crs_records	11059	13

Tabla 10. Información sobre asistencia a clase en la base de datos (sep. 2018).

Grupo	Información	Tablas	Nº de elementos	
			SWAD-UGR	OpenSWAD

Control de asistencia	· N.º de eventos de asistencia · N.º de estudiantes en cada evento	att_events	2239	146
		att_grp	1002	59
	· Eventos a los que asiste cada estudiante · Comentarios de usuarios	att_usr	28308	1835

Tabla 11. Información sobre la red social en la base de datos (sep. 2018).

Grupo	Información	Tablas	Nº de elementos	
			SWAD-UGR	OpenSWAD
Red social	· Relaciones (seguidores-seguidos) · Posts y comentarios · Compartidos · Favoritos	usr_follow	4205	2645
		social_pubs	13572	1394
		social_notes	13314	1219
		social_posts	180	271
		social_comments	176	104
		social_notes_fav	193	124
		social_comments_fav	208	140
		social_timelines	<i>variable</i>	<i>variable</i>

Tabla 12. Información sobre foros y chat en la base de datos (sep. 2018).

Grupo	Información	Tablas	Nº de elementos	
			SWAD-UGR	OpenSWAD
Foros y chat	· N.º de discusiones · N.º de posts por discusión · Usuarios que escriben en los foros · Usuarios que leen los foros	forum_thread	8683	267
		forum_post	61967	1034
		forum_disabled_post	242	1
		forum_thr_read	257940	1132
		forum_thr_clip	<i>variable</i>	<i>variable</i>
	· Usuarios en salas de chat	chat	<i>variable</i>	<i>variable</i>

Tabla 13. Información sobre anuncios y avisos en la base de datos (sep. 2018).

Grupo	Información	Tablas	Nº de elementos	
			SWAD-UGR	OpenSWAD
Anuncios y avisos	· Anuncios globales	announcements	59	36
		ann_seen	102451	615
	· Avisos en asignaturas	notices	12210	180
		notices_deleted	75094	164

Tabla 14. Información sobre mensajes en la base de datos (sep. 2018).

Grupo	Información	Tablas	Nº de elementos	
			SWAD-UGR	OpenSWAD
Mensajes	<ul style="list-style-type: none"> · N.º de mensajes · N.º de mensajes por asignatura · N.º de mensajes por usuario · N.º de destinatarios · Tamaño de los mensajes · Tiempo en responder ... 	msg_snt	1235699	2750
		msg_snt_deleted	667692	380
		msg_rcv	14351422	9310
		msg_rcv_deleted	6245062	724
		msg_content	1602182	3061
		msg_content_deleted	300554	69
		msg_banned	3060	5
	<ul style="list-style-type: none"> · N.º de notificaciones y correos de notificación enviados para cada tipo 	notif	239036 <i>variable</i>	11877 <i>variable</i>
		sta_notif	20433	915
		mail_domains	118	235

Son de especial interés las tablas en las que se guardan los registros históricos de accesos y búsquedas (Tabla 15). Cada vez que un usuario pulsa en una opción, se envía una petición al servidor, donde se ejecuta el núcleo de SWAD. En SWAD-UGR se han observado picos de hasta 2000 clics por minuto (30/s), aunque es más habitual una tasa de accesos de 100 a 400 clics por minuto (2-7/s). El programa *swad-core* consulta la base de datos en el servidor realizando decenas o cientos de consultas por cada clic, genera todo el contenido HTML5 de la página, lo envía al navegador (cliente) del usuario, y guarda el acceso en las tablas de *log* del servidor.

La tabla *log_full* es, con diferencia, la más grande de la base de datos, ocupando alrededor del 90% del espacio en disco. A fecha de septiembre de 2018, en SWAD-UGR esta tabla requiere 66 GiB de disco (91% de 72 GiB, que es el espacio ocupado por todas las tablas), y en OpenSWAD 465 MiB de disco (84% de 554 MiB).

Tabla 15. Registro de accesos en la base de datos (sep. 2018).

Grupo	Información	Tablas	Nº de elementos	
			SWAD-UGR	OpenSWAD
Registro de accesos	<ul style="list-style-type: none"> · Información detallada de accesos: · Por rol de usuario · Por usuario · Por acción 	log_full	448196753	2916656
		log_recent	729129 <i>variable</i>	52604 <i>variable</i>
		log_comments	1341662	2934

<ul style="list-style-type: none"> · Por titulación · Por asignatura · Por fechas ... · Búsquedas 	log_ws	59203049	377581
	log_search	38854	9316
	log_banners	31892	1116
	actions	1567	1573
<ul style="list-style-type: none"> · Acciones · Acciones frecuentes 	actions_MFU	3747351	214517

Tabla 16. Información en otras tablas de la base de datos (sep. 2018).

Grupo	Información	Tablas	Nº de elementos	
			SWAD-UGR	OpenSWAD
Miscelánea	· Enlaces y banners publicitarios	links	7	7
		banners	46	22
	· Complementos y servicio web	plugins	8	2
		ws_keys	13014 <i>variable</i>	860 <i>variable</i>
	· Datos temporales	IP_prefs	12059 <i>variable</i>	565 <i>variable</i>
		hidden_params	<i>variable</i>	<i>variable</i>
		debug	<i>variable</i>	<i>variable</i>

Archivos

En la Tabla 7 se ha resumido la información sobre archivos que guarda la base de datos. Aparte de estos metadatos, en el sistema de archivos del servidor se almacenan los archivos propiamente dichos. En las Tablas 17 y 18 se muestran detalles sobre el número de carpetas y archivos en SWAD-UGR y en OpenSWAD, respectivamente.

Tabla 17. Carpetas y archivos en SWAD-UGR (sep. 2018).

Zonas de archivos	Asignaturas	Grupos	Usuarios	Máx. niveles	Carpetas	Archivos	Tamaño	Carpetas/ asg.	Archivos/ asg.	Tamaño/ asg.	Carpetas/ usr.	Archivos/ usr.	Tamaño/ usr.
Documentos (asg.)	5274	-	-	9	31565	147455	390,2 GiB	6,0	28,0	75,8 MiB	-	-	-
Documentos (grp.)	154	543	-	5	1154	4261	7,2 GiB	7,5	27,7	48,0 MiB	-	-	-
Privados (asg.)	705	-	-	5	75	432	2,4 GiB	0,1	0,6	3,5 MiB	-	-	-
Privados (grp.)	26	74	-	3	10	57	24,6 MiB	0,4	2,2	968,4 KiB	-	-	-
Compartidos (asg.)	5085	-	-	10	7769	45164	171,9 GiB	1,5	8,9	34,6 MiB	-	-	-
Compartidos (grp.)	234	860	-	7	553	3838	4,1 GiB	2,4	16,4	18,1 MiB	-	-	-
Calificaciones (asg.)	2539	-	-	5	925	5704	830,5 MiB	0,4	2,2	334,9 KiB	-	-	-
Calificaciones (grp.)	74	220	-	3	113	588	32,9 MiB	1,5	7,9	454,8 KiB	-	-	-
Actividades	3376	-	58157	7	235304	134182	165,7 GiB	69,7	39,7	50,2 MiB	4,0	2,3	2,9 MiB
Trabajos	3944	-	63110	9	32172	286995	377,4 GiB	8,2	72,8	98,0 MiB	0,5	4,5	6,1 MiB
Total	5988	1094	-	10	249800	626645	1,1 TiB	41,7	104,7	191,0 MiB	-	-	-
Zonas de archivos	Asignaturas	Grupos	Usuarios	Máx. niveles	Carpetas	Archivos	Tamaño	Carpetas/ asg.	Archivos/ asg.	Tamaño/ asg.	Carpetas/ usr.	Archivos/ usr.	Tamaño/ usr.
Maletines	-	-	27777	9	11401	72564	187,9 GiB	-	-	-	0,4	2,6	6,9 MiB

Tabla 18. Carpetas y archivos en OpenSWAD (sep. 2018).

Zonas de archivos	Asignaturas	Grupos	Usuarios	Máx. niveles	Carpetas	Archivos	Tamaño	Carpetas/ asg.	Archivos/ asg.	Tamaño/ asg.	Carpetas/ usr.	Archivos/ usr.	Tamaño/ usr.
Documentos (asg.)	509	-	-	5	1346	4306	15,8 GiB	2,6	8,5	31,7 MiB	-	-	-
Documentos (grp.)	16	34	-	3	20	68	18,2 MiB	1,2	4,2	1,1 MiB	-	-	-
Privados (asg.)	189	-	-	3	22	72	243,6 MiB	0,1	0,4	1,3 MiB	-	-	-
Privados (grp.)	10	12	-	2	2	2	51,3 KiB	0,2	0,2	5,1 KiB	-	-	-
Compartidos (asg.)	504	-	-	5	289	1284	3,1 GiB	0,6	2,5	6,3 MiB	-	-	-
Compartidos (grp.)	19	30	-	4	45	81	90,5 MiB	2,4	4,3	4,8 MiB	-	-	-
Calificaciones (asg.)	208	-	-	2	35	55	3,1 MiB	0,2	0,3	15,4 KiB	-	-	-
Calificaciones (grp.)	12	17	-	2	2	10	488,1 KiB	0,2	0,8	40,7 KiB	-	-	-
Actividades	185	-	1900	4	2367	1036	1,3 GiB	12,8	5,6	7,0 MiB	1,2	0,5	701,6 KiB
Trabajos	185	-	1900	5	583	1563	1,6 GiB	3,2	8,4	8,9 MiB	0,3	0,8	890,8 KiB
Total	771	48	-	5	3762	8473	22,1 GiB	4,9	11,0	29,3 MiB	-	-	-
Zonas de archivos	Asignaturas	Grupos	Usuarios	Máx. niveles	Carpetas	Archivos	Tamaño	Carpetas/ asg.	Archivos/ asg.	Tamaño/ asg.	Carpetas/ usr.	Archivos/ usr.	Tamaño/ usr.
Maletines	-	-	3589	5	117	456	1,4 GiB	-	-	-	0,0	0,1	402,7 KiB

Fotografías de los usuarios

SWAD almacena las fotografías con el rostro de los usuarios a partir de las imágenes enviadas por ellos mismos. Se guardan tanto las imágenes originales, con fines de entrenamiento del detector de rostros [9, 51], como las procesadas por dicho detector, que son las que se muestran a los usuarios. En las Tablas 19 y 20 se muestra el número de fotografías de usuarios en SWAD-UGR y OpenSWAD respectivamente.

El módulo *fotomaton* realiza una detección de rostros presentes en la imagen enviada por el usuario, en la que pueden aparecer varias personas. El programa muestra la imagen original con círculos verdes rodeando los rostros detectados en posición frontal y con el fondo blanco o claro, y círculos rojos en los rostros que también están en posición frontal pero tienen el fondo oscuro. El usuario puede elegir uno de los rostros en verde.

La detección de rostros se realiza mediante un clasificador en cascada, similar al entrenado en 2001 por Paul Viola y Michael Jones [64]. En 2007 entrenamos el clasificador de rostros con unas 22 000 fotografías [9], y desde ese año hasta 2018 estuvimos usando dicho clasificador con unos resultados satisfactorios. No obstante, en algunos casos no se detectaban correctamente rostros que a priori tenían una posición e iluminación correctas. En 2018 se ha vuelto a entrenar el clasificador con muchas más imágenes, con una mejora clara en los resultados [51]. Se ha obtenido un mayor índice de aciertos y un menor tiempo de cómputo en la detección de rostros. En lugar de usar nuestra propia implementación del entrenador [9], se han utilizado las herramientas proporcionadas por la biblioteca OpenCV [54] para entrenar clasificadores en cascada. El nuevo clasificador es menos robusto en algunos casos que el anterior en cuanto a falsos positivos (aunque su tasa de falsos positivos sigue siendo baja, entre un 1% y un 6%), pero lo compensa con una tasa de acierto más alta. En imágenes formales de orlas de clase con decenas o cientos de personas, los aciertos han pasado de un 95,56% a un 99,43%; esto supone un 13% de errores respecto al clasificador anterior, o un 87% de disminución de errores. En imágenes

informales de grupos de personas los aciertos han pasado de un 79,19% a un 87,27%, es decir, el nuevo clasificador obtiene un 61% de errores respecto al clasificador anterior, o un 39% de disminución de errores. Además, el nuevo clasificador es más eficiente, disminuyendo el tiempo de detección aproximadamente a la mitad.

Tabla 19. Fotografías de usuarios en SWAD-UGR (sep. 2018).

Fotografías	Espacio en disco	N.º de fotos	Tamaño promedio
Originales	26,3 GiB	100302	275,4 KiB/foto
Procesadas	1,2 GiB	97134	12,6 KiB/foto
Total	27,5 GiB	197436	146,1 KiB/foto

Tabla 20. Fotografías de usuarios en OpenSWAD (sep. 2018).

Fotografías	Espacio en disco	N.º de fotos	Tamaño promedio
Originales	1 852,1 MiB	4774	397,3 KiB/foto
Procesadas	40,6 MiB	3158	13,2 KiB/foto
Total	1 892,7 MiB	7932	244,3 KiB/foto

Otra aplicación interesante que podría plantearse usando las fotos de los usuarios sería pasar de un sistema de *detección* de rostros a un sistema de *reconocimiento* de caras que permitiera nuevos usos como:

- controlar la asistencia a clases presenciales mediante una fotografía global de la clase
- controlar si el usuario que está al otro lado es quien dice ser (por ejemplo en exámenes en línea o en MOOC)

3.3 Servidor web

En este apartado detallamos el hardware y el software de sistema de los distintos servidores web en los que se ha instalado la plataforma.

En el caso de SWAD-UGR, se han usado 6 servidores distintos desde 1999:

1. Durante las primeras etapas de desarrollo de SWAD, desde septiembre de 1999 hasta octubre de 2004, SWAD-UGR compartió ubicación en el mismo

servidor atc.ugr.es usado para el correo electrónico y el portal web del Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores.

2. Desde el 8 de octubre de 2004 hasta el 11 de febrero de 2007, SWAD-UGR utilizó el servidor de uso exclusivo swad.ugr.es. Disponía de un procesador Pentium 4 HT a 3,2 GHz, 2 GiB de memoria RAM DDR-400, y un sistema de almacenamiento SATA RAID 1 con dos discos duros de 160 GB. En ese servidor, la plataforma utilizaba el servidor web Apache 2.0 y el servidor de bases de datos MySQL 4.1.9 sobre GNU/Linux Fedora Core 3.
3. Desde el 11 de febrero de 2007 hasta el 15 de febrero de 2009, un nuevo servidor de SWAD-UGR disponía de un procesador Intel Core 2 Duo a 2,4 GHz, 4 GiB de memoria RAM DDR2-667, y un sistema de almacenamiento SATA 2 RAID 1 con dos discos duros de 500 GB. La plataforma utilizaba el servidor web Apache 2.2 y el servidor de bases de datos MySQL 5.0.27 sobre GNU/Linux Fedora Core 6.
4. Desde el 15 de febrero de 2009 hasta el 17 de diciembre de 2010, SWAD-UGR utilizó un servidor que disponía de un procesador Intel Core 2 Quad Q9550 a 2,83 GHz, 4 GiB de memoria RAM DDR3, y un sistema de almacenamiento con dos discos duros SATA 2 de 1 TB (7 200 rpm), y otros dos discos de 146 GB (15 000 rpm) montados en RAID 1. En este servidor la plataforma utilizó el servidor web Apache 2.2 y el servidor de bases de datos MySQL 5.0.77 sobre GNU/Linux Fedora Core 10.
5. Desde el 17 de diciembre de 2010 hasta el 18 de septiembre de 2016 la plataforma SWAD-UGR estuvo alojada en un servidor adquirido por el Centro de Enseñanzas Virtuales de la UGR (CEVUG). Se trataba de un servidor enracable HP ProLiant DL380 G6 de 2U (Figura 4) con las siguientes características:
 - 2 procesadores Intel Xeon E5540 (2,53 GHz, 4 núcleos, 8 hebras, 8 MiB de caché L3, reloj DDR3 a 1066 MHz).
 - 24 GiB de memoria RAM DDR3-1333 (PC3-10600 *registered*, 6 módulos DIMM de 4 GiB), funcionando a 1066 MHz. Cada procesador tenía un acceso de tres canales a 12 GiB de RAM (3 DIMM de 4 GiB)
 - 4 discos de 146 GB 6G SAS 15 000 rpm, en RAID 1+0, para el sistema operativo y la base de datos, con un tamaño total de 292 GB.

- 4 discos de 500 GB 6G SAS 7 200 rpm, en RAID 5, para los archivos de las asignaturas y los discos virtuales de los usuarios, con un tamaño total de 1,5 TB.
- Sistema operativo CentOS 5.7.



Figura 4. 5º servidor de SWAD-UGR, usado desde 2010 a 2016 [21].

6. Desde el 19 de septiembre de 2016 la plataforma SWAD está alojada en un servidor adquirido por el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores. Se trata de un servidor enracable HP ProLiant DL160 G9 de 1U (Figura 5) con las siguientes características:
 - 2 procesadores Intel Xeon E5-2620 v3 (2,4 GHz, 6 núcleos, 12 hebras, 15 MiB de caché L3, reloj DDR4 a 1866 MHz).
 - 32 GiB de memoria RAM DDR4-2133 (PC4-17000 *registered*, 2 módulos DIMM de 16 GiB), funcionando a 1866 MHz. Cada procesador tiene un acceso un módulo de 16 GiB de RAM.
 - 4 discos de 146 GB 653950 6G SAS 15 000 rpm, en RAID 1+0, para el sistema operativo y la base de datos, con un tamaño total de 292 GB.
 - 4 discos de 1 TB 653954 6G SAS 7 200 rpm, en RAID 5, para los archivos de las asignaturas y los discos virtuales de los usuarios, con un tamaño total de 3 TB.
 - Sistema operativo CentOS 7.2, con un servidor web Apache 2.4.5 y un servidor de bases de datos MySQL 5.6.73.



Figura 5. 6º servidor (actual) de SWAD-UGR, usado desde 2016 [21].

En el caso de OpenSWAD, se utiliza un “servidor dedicado” alquilado en la compañía Hetzner Online AG y ubicado en Alemania. En marzo de 2012 escogimos un servidor dedicado EX4 para OpenSWAD por su buena relación prestaciones / precio. En este tipo de servidor el proveedor nos da un usuario *root* y nosotros tenemos que configurar el sistema por nuestros propios medios, al contrario que en un “servidor gestionado” que resultaría mucho más caro. El coste mensual de este servidor era de 49€ con un coste de puesta en servicio de 149€. Algunas de sus características eran: procesador Intel Core i7-2600 Quadcore, RAM de 16 GiB DDR3, 2 discos duros de 3 TB SATA 6 Gbits/s 7 200 rpm (Software-RAID 1), tarjeta de red de 1 Gbits/s conectada a 100 Mbits/s, espacio de copias de seguridad de 100 GB y una conexión restringida a 10 Mbits/s en caso de que se superen los 10 TB/mes de bajada. En cuando al software, entre varios sistemas operativos preinstalados que ofrecía el proveedor, escogimos la distribución de GNU/Linux CentOS 5.7.

En mayo de 2014 actualizamos el servidor de OpenSWAD a un servidor dedicado EX40, que incluye las siguientes características al mismo precio de 49€/mes y una puesta en marcha de 49€: procesador Intel Core i7-4770 Quadcore Haswell, RAM de 32 GiB DDR3, 2 discos duros de 2 TB SATA 6 Gbits/s 7 200 rpm (Software-RAID 1), conexión de 1 Gbits/s con un ancho de banda garantizado de 200 Mbits/s, espacio de copias de seguridad de 100 GB, y 20 TB de bajada al mes con conexión restringida a 10 Mbits/s si se supera dicho límite. En este nuevo servidor escogimos una distribución GNU/Linux CentOS 6.5, con un servidor web Apache 2.2.15 y un servidor de bases de datos MySQL 5.1.73.

En 2016 instalamos además un servidor de swad en una Raspberry Pi 2 para comprobar si era posible dar servicio a una institución educativa pequeña con un coste muy económico. Ante la dificultad de configuración de la red con el sistema original Raspbian, optamos por una distribución de GNU/Linux Ubuntu Mate 16.04. La instalación y compilación resultaron muy lentas en comparación con un servidor medio. Como ejemplo, el tiempo de compilación del núcleo de SWAD fue de 0'25'' en SWAD-UGR, 0'12'' en OpenSWAD y 7'30'' en la Raspberry Pi 2. La compilación de OpenCV requirió varias horas. Una vez finalizada la instalación pudimos comprobar que el sistema funcionaba a una velocidad aceptable (aunque apreciablemente más lenta que en un servidor o un PC de gama media), pero solo con un mecanismo de almacenamiento MyISAM para las tablas de la base de datos, ya que el mecanismo InnoDB que usa MySQL por omisión lo hacía completamente inusable por su extrema lentitud. La instalación de demostración estuvo funcionando ininterrumpidamente en <https://swadberrry.ugr.es/> durante un año, desde julio de 2016 hasta el verano de 2017 (Figura 6). Transcurrido ese tiempo probablemente la tarjeta SD sufrió daños y el sistema de archivos se corrompió, dejando de funcionar, por lo que creemos que no se trata de una solución fiable a medio o largo plazo.

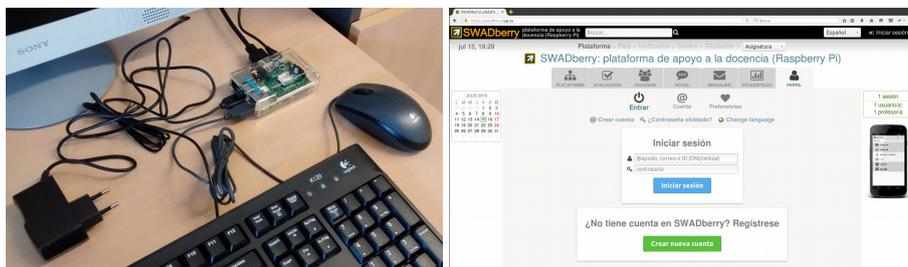


Figura 6. Instalación de SWAD en una Raspberry Pi 2.

4 Trabajo futuro

Hay un sinnúmero de mejoras propuestas por los usuarios y los propios autores [20]. Sin embargo, queremos centrarnos en la integración en la plataforma de tres técnicas o líneas de trabajo que consideramos prioritarias: la gamificación, la geolocalización y la minería de datos. También pretendemos estudiar si estas mejoras influyen en la mejora del rendimiento académico, la evaluación, la tutoría y la satisfacción de los estudiantes respecto a su proceso de formación, y en la satisfacción de los profesores respecto al uso de las TIC como apoyo a su trabajo como docentes. Este propósito es muy amplio, de modo que hemos dividido la propuesta en cinco objetivos concretos:

1. Incorporación de *nuevas funcionalidades* en la plataforma y mejora de algunas de las existentes para su integración posterior con gamificación, geolocalización y minería de datos.
2. Integración de *gamificación* basada en elementos típicos de juegos en todas aquellas funcionalidades de la plataforma web y las aplicaciones móviles donde tenga sentido hacerlo.
3. Integración de *geolocalización* en interiores para mejorar la localización en tiempo real de usuarios dentro de las dependencias institucionales y el control de asistencia (se estudiarán otras posibles aplicaciones).
4. Integración de técnicas de *minería de datos educativa* (EDM) [60] para mejorar la evaluación del estudiante en la plataforma, identificar consejos de estudio para los estudiantes, y ofrecer alertas a estudiantes y profesores.
5. *Análisis* de los cambios educativos que supone la incorporación de las nuevas funcionalidades, métodos y técnicas en cuanto a motivación y participación de los estudiantes, resultados académicos, y grado de uso y satisfacción por parte del profesorado.

A continuación se desglosan cada uno de estos cinco objetivos en tareas concretas:

Objetivo 1. *Incorporación de nuevas funcionalidades en la plataforma y mejora de algunas de las existentes* para su integración posterior con gamificación, geolocalización y minería de datos. En la hoja de ruta de SWAD [20] se recogen las mejoras propuestas por el equipo de desarrollo o por los usuarios. En este primer objetivo se pretende dar prioridad a aquellas funcionalidades necesarias para incorporar con mayor eficacia las técnicas de gamificación, geolocalización y minería de datos propuestas en otros objetivos. Esta mejora previa comprende las siguientes tareas:

- *Diseño instructivo de la asignatura con planificación temporal.* Consistirá en la creación de una nueva funcionalidad en la plataforma que centralice el diseño instructivo de la asignatura o curso, con una clara componente de planificación temporal (semanal o diaria) de actividades y recursos. SWAD ahora mismo reparte esta funcionalidad entre distintas opciones como el programa, los documentos, las actividades, los horarios, los eventos de asistencia o los test de autoevaluación. En el nuevo diseño se podrán asignar las tareas correspondientes a cada día. Haciendo clic en un día se podrán ver con detalle: el contenido de las clases de ese día, referencias a archivos (de la zona de documentos) de la clase correspondiente de ese día, fechas

límites de entrega de trabajos, cancelación de clases, fechas de conferencias, etc. Se incluirá un apartado para contenido previsto de cada clase y otro para contenido impartido realmente, de modo que:

- el estudiante tenga claro de antemano qué se prevé dar en cada clase
 - el estudiante sepa qué se ha dado en cada clase
 - el profesor planifique sus clases
 - el profesor compruebe cómo se ajusta la realidad a la planificación
- *Seguimiento del tiempo y partes de actividad* de los estudiantes. Un aspecto a desarrollar relacionado con el anterior es el seguimiento del tiempo dedicado por los estudiantes a cada parte de la asignatura. En general, los estudiantes dedican menos tiempo a la asignatura que el que se recomienda en la guía docente, concentrando las horas de estudio al final del curso, justo antes del examen [61]. La herramienta estimará el tiempo real dedicado por los estudiantes y lo comparará con el que estaba especificado en la planificación.

Esta nueva funcionalidad, que estimará el tiempo empleado por los estudiantes en la plataforma, podrá complementarse con partes de actividad [35], donde el propio estudiante podrá indicar el tiempo que va dedicando a estudio de teoría, resolución de problemas, trabajos y prácticas fuera de la plataforma. Aparte de las columnas relacionadas con las asignaturas, también pueden añadirse otras para actividades como dormir, deporte, relaciones sociales, tv/juegos, etc. Un parte de actividad consta de cuatro parámetros: quién, qué, cuándo, cuánto. El estudiante solo rellenará el cuánto, puesto que los otros parámetros son conocidos. La aplicación posterior de minería de datos podrá realizar recomendaciones a los estudiantes sobre la gestión de su tiempo. El objetivo es que el estudiante aprenda a desarrollar las competencias de gestión del tiempo y autoplanificación.

- *Wiki*. Creación de un wiki integrado en la plataforma para redactar contenidos de la asignatura o para realizar trabajos académicos en pequeños grupos de forma colaborativa.
- *Horarios y calendario mejorados*. Incorporación de mejoras en los horarios y el calendario, integrándolos con las funcionalidades de diseño instructivo, actividades, encuestas, convocatorias, agenda, y en general, con cualquier funcionalidad que implique eventos en el tiempo.

- *Exámenes mejorados.* Mejora del sistema de exámenes de tipo test añadiendo ciertas características sugeridas por los profesores que más lo usan. Entre ellas se añadiría a las preguntas una puntuación parcial por curso académico adicional a la puntuación global o histórica.
- *Subida de trabajos desde el móvil.* Nueva opción de escaneo (usando la cámara integrada) y subida a la plataforma de trabajos escritos a mano, desde las apps móviles. Esta opción permitiría, por ejemplo, subir problemas realizados en el aula justo al terminar de resolverlos.
- *Calificaciones integradas en la plataforma.* Mejora de la funcionalidad de campos personalizados de fichas hasta convertirla en una herramienta de calificaciones similar a la hoja de cálculo externa que muchos profesores usan para guardar y sumar todas las notas. Esta herramienta debería integrarse con todas las opciones que pueden generar calificaciones: exámenes de test, entrega de actividades y trabajos, entrega de archivos de proyectos, control de asistencia, etc.
- *Funcionalidades de comunicación mejoradas:*
 - *Mejora de los foros* incorporando nuevas características sugeridas por profesores y estudiantes.
 - *Sustitución del módulo de chat* actual [12], que ya no es admitido por las últimas versiones de los navegadores, por un nuevo módulo ya en desarrollo, basado en HTML5 en lugar de Java, que tendría un aspecto y funcionamiento parecido a los de aplicaciones de mensajería como WhatsApp o Telegram.
 - *Mejora del sistema de mensajería* incorporando un selector de respuesta requerida, para poder usar el porcentaje de mensajes respondidos en la generación de informes.

Se podrían añadir algunas otras funcionalidades si se concluye que resultan necesarias para la consecución de los objetivos 2, 3 y 4.

Objetivo 2. *Integración de gamificación* basada en elementos típicos de juegos —puntos, insignias, marcadores, *karma*, barras de progreso, niveles— en todas las funcionalidades de la plataforma web y las aplicaciones móviles donde tenga sentido hacerlo, tanto para estudiantes como para profesores y otros usuarios. Este objetivo lo dividimos en las siguientes tareas:

- *ARS integrado.* Creación de un sistema de juegos interactivos en el aula integrado en la plataforma, del tipo sistema de respuesta de audiencia o

ARS (por las iniciales de *audience response system*) [46], que aproveche el banco de preguntas de tipo test existente. Estos sistemas suelen emplear mandos a distancia adquiridos por el centro educativo (por ejemplo EduClick [34] o QOMO Qclick [58]) o directamente los teléfonos móviles de los estudiantes con apps como Kahoot! [45] para responder preguntas de tipo test lanzadas por el profesor en la pantalla.

- *Puntuaciones e insignias* en funcionalidades globales y de la asignatura. Se trata de añadir un sistema de puntuación para el usuario tanto en las funcionalidades globales —independientes de la asignatura— como en las funcionalidades propias de la asignatura seleccionada:
 - *Funcionalidades globales*: se obtendrán puntos cuando se realicen ciertas tareas en las funcionalidades existentes (por ejemplo, rellenar los datos personales, escribir en la red social o en foros globales) y en las nuevas funcionalidades (por ejemplo, rellenar partes de actividad). Los administradores de la plataforma podrán configurar dónde se obtienen puntos y bajo qué criterios.
 - *Funcionalidades de la asignatura*: se obtendrán puntos cuando se realicen ciertas tareas en las funcionalidades existentes (por ejemplo, descargar archivos, subir archivos, realizar exámenes de autoevaluación, responder encuestas, escribir en el foro) y en las nuevas funcionalidades (por ejemplo, editar en el wiki, rellenar partes de actividad, participar en juegos de mando a distancia). Este sistema otorgará insignias definidas por el profesor cuando se alcancen diferentes objetivos. Los profesores podrán configurar no solo dónde se obtienen puntos en la asignatura sino con cuántos puntos en cada caso y con qué criterios se obtienen las insignias.
- *Sistema de karma*. Implementación de un sistema de *karma* similar al del agregador de noticias Menéame [50] para los usuarios, la línea de tiempo de la red social, los foros y las zonas de archivos. El cálculo del karma requiere que los usuarios puedan valorar positiva o negativamente los comentarios en la línea de tiempo y los foros, y los archivos en las zonas de archivos.
- *Barras de progreso*. Se añadirán barras de progreso en el perfil del usuario y en la asignatura:
 - Barra de progreso del perfil de usuario, similar a la que existe en redes sociales como LinkedIn [63], ya que en OpenSWAD hemos

detectado que un gran porcentaje de usuarios se registra pero no completa su perfil.

- Barras de progreso en la asignatura. Se trata de implantar una barra de progreso global para el usuario en la asignatura, y barras de progreso individuales para el usuario en elementos como temas, actividades, semanas, etc. que puedan descomponerse en subtareas.

Objetivo 3. *Integración de geolocalización en interiores*, basada en mapeo WiFi para la aplicación móvil —y estudio de viabilidad de geolocalización de HTML5 para la versión web—, para mejorar la localización en tiempo real de usuarios dentro de las dependencias institucionales y el control de asistencia. Además se estudiarán otras posibles aplicaciones. Este objetivo lo dividimos en las siguientes tareas:

- *Prototipo para la app móvil y para el navegador*. Se desarrollará un prototipo de geolocalización en interiores para las apps móviles:
 - Sería inútil saber qué señales vemos si no sabemos dónde están. Por ello es necesario crear una base de datos con puntos de acceso y ubicaciones. En el prototipo se mapearán algunos edificios de la UGR: toda la ETSIIT y algunas dependencias de otros edificios institucionales (CITIC, Facultad de Ciencias, etc.).
 - Con la red WiFi previamente mapeada geográficamente, se estudiará si es posible ubicar nuestra posición con un nivel razonable de precisión. Para llevar a cabo la geolocalización en interiores con mapeo WiFi se estudiarán aplicaciones de software libre como FIND [37].

También se estudiará la posibilidad de ubicar a los usuarios que usen el navegador en lugar de la app:

- Se estudiará la viabilidad del uso de la geolocalización proporcionada por la API de geolocalización de HTML5 para la versión web.
- *Incorporación de funciones a la API de SWAD* (en el servidor) para almacenamiento de puntos de acceso y ubicación en tiempo real.
- *Integración del prototipo en las apps SWADroid e iSWAD* y pruebas para generación de la base de datos, ubicación de profesores y estudiantes, y control de asistencia.

- *Integración de la creación de la base de datos.* Cualquier usuario podrá añadir un nuevo punto de acceso, que quedará en la base de datos en el estado “pendiente” para su revisión por los administradores.
- *Integración de la ubicación de usuarios* (profesores, compañeros de clase, usuarios seguidos en la red social) dentro de las dependencias institucionales. El rastreo de nuestra posición se realizará voluntariamente y solo mientras nos encontremos en dichas dependencias, por lo que será necesaria una confirmación por parte de administradores de que los puntos registrados pertenecen realmente a la institución.
- *Mejora del control de asistencia a clase* actualmente disponible en el núcleo de SWAD añadiendo la posibilidad de uso de una palabra clave en combinación con geolocalización.
- *Incorporación de gamificación* en la creación de la base de datos de puntos de acceso (creando incentivos para poblar la base de datos más rápidamente en cualquier institución) y en la ubicación (marcadores y logros similares a los de aplicaciones como FourSquare [38]).
- *Posibles mejoras.* Se estudiará la incorporación de diversas mejoras a las funcionalidades de ubicación, entre las que podemos destacar:
 - Ubicación de usuarios seguidos en la red social (amigos) que se encuentren próximos, de acuerdo con la configuración de distancia establecida por el usuario.
 - Visualización de las ubicaciones en planos y mapas.
 - Uso de códigos QR para hacer check-in al entrar en una ubicación (por ejemplo puerta de las aulas).
 - Uso de realidad aumentada: añadir información en la base de datos sobre el lugar en el que nos encontramos.
 - Almacenamiento de un registro histórico de la ubicación de estudiantes para realizar informes (partes de actividad) y recomendaciones usando minería de datos.

Objetivo 4. *Integración de técnicas de minería de datos educativa (EDM)* de cara a mejorar la evaluación del estudiante en la plataforma, identificar

consejos de estudio para los estudiantes, y ofrecer alertas a estudiantes y profesores. Este objetivo lo dividimos en las siguientes tareas:

- *Estudio de EDM.* Estudiar el estado del arte del área de EDM [60] en mayor profundidad en cuanto a congresos, revistas, artículos y líneas de investigación.
- *Estudio de los algoritmos y las herramientas software de minería de datos,* tanto genéricas como específicas para EDM, con vistas a realizar experimentos y finalmente seleccionar los algoritmos a implementar en el resto de tareas.
- *Experimentos fuera de la plataforma.* Usar los paquetes de software seleccionados para realizar experimentos en las siguientes áreas:
 - *Predicción del rendimiento del estudiante.* Estimar el valor desconocido del rendimiento, puntuación o calificación del estudiante a partir de su trayectoria en la plataforma.
 - *Recomendaciones para los estudiantes* con respecto a los temas a revisar, actividades a realizar, bibliografía o enlaces a consultar, etc.
 - *Retroalimentación para los profesores* que les ayude en la toma de decisiones sobre cómo mejorar el aprendizaje de los estudiantes y les permita tomar medidas preventivas o correctivas apropiadas.
 - *Alertas para estudiantes y profesores.* Monitorizar el progreso de aprendizaje de los estudiantes para detectar en tiempo real conductas indeseables, como baja motivación, distracciones, mal uso, trampas, abandono, etc. A modo de ejemplo:
 - Alertas cuando haya preguntas de test que no son contestadas o cuya puntuación es muy baja.
 - Alertas cuando haya documentos que no son descargados.
 - Alertas cuando haya mensajes sin leer o responder a partir de cierto tiempo desde su recepción.
- *Integración de EDM en la plataforma.* Seleccionar e integrar en la plataforma los algoritmos que ofrezcan resultados útiles (usando bibliotecas libres o codificando los algoritmos) de manera que los usuarios puedan acceder a la información útil sin ningún conocimiento de las técnicas de minería de datos. Se priorizará ofrecer una información visual sencilla frente a datos complejos de interpretar.

Objetivo 5. *Análisis y difusión de los cambios educativos* que supone la incorporación de todas las funcionalidades, métodos y técnicas desarrolladas. Este objetivo se centra en investigar si la integración de la gamificación, la geolocalización y la minería de datos en la plataforma y en la dinámica de las actividades formativas motiva a los estudiantes a participar más en la clase (aula y plataforma) y esto se traduce en mejores resultados académicos y mayor satisfacción. También nos interesa analizar el uso que dará el profesorado a las nuevas herramientas y su grado de satisfacción con ellas.

Los experimentos se ejecutarán simultáneamente en varias asignaturas piloto, con diferentes grupos de usuarios. Las diferentes características de las asignaturas se tendrán en cuenta en el análisis de los resultados. Los resultados recopilados serán el impacto percibido por los usuarios, así como las mediciones de rendimiento académico y uso de la plataforma comparadas antes y después de la aplicación de los cambios. Los resultados serán analizados, agrupados y contrastados para llegar a conclusiones útiles.

Para ello llevaremos a cabo las siguientes tareas:

- *Entrevistas con los usuarios participantes*, previas a la aplicación de los cambios, con el fin de determinar sus características personales, opinión sobre la asignatura y sobre la plataforma, preferencias de juego, etc.
- *Adquisición de datos de referencia históricos* sobre el rendimiento académico de los estudiantes y sobre el uso de la plataforma antes de aplicar los métodos de gamificación, geolocalización y minería de datos.
- *Medición de los siguientes indicadores* una vez aplicadas las novedades:
 - *Rendimiento académico* de los estudiantes, medido mediante la calificación final.
 - *Grado de uso y participación en las funcionalidades de la plataforma* por parte de profesores y estudiantes, medido mediante análisis de los registros de la base de datos.
 - *Motivación y satisfacción de los estudiantes* respecto a su proceso de formación, evaluación y tutoría, medido mediante encuestas.
 - *Satisfacción de los profesores* respecto al uso de estas herramientas como apoyo a su trabajo como docentes —con especial énfasis en la mejora del proceso de evaluación de los estudiantes—, medido también mediante encuestas.

- *Difusión de resultados* parciales y finales de todo el proceso de I+D+i.

5 Conclusiones y resultados esperados

Durante 19 años hemos desarrollado la plataforma educativa SWAD en la UGR, con gran éxito en esta institución. Para profesores y administradores, los logros alcanzados han sido realizar a través de Internet algunas de las tareas de gestión relacionadas con una asignatura y sus estudiantes, y una mejor tutoría y comunicación en general. Para los estudiantes, los logros han sido un mejor acceso a los documentos y la información de las asignaturas, la posibilidad de una autoevaluación en línea, la entrega de trabajos remota y la mejora de la comunicación tanto alumno-alumno como alumno-profesor.

Casi desde su comienzo, la instalación de SWAD en la UGR se ofreció de forma gratuita a toda la comunidad universitaria para apoyar la enseñanza presencial y fue muy bien recibida por estudiantes y profesores. Su éxito se demuestra en el crecimiento constante hasta 2015. La plataforma actualmente alberga más de 138 000 usuarios y a lo largo de los años ha sido utilizada por aproximadamente 180 000 usuarios.

Desde 2015 su uso en la UGR ha disminuido debido a la existencia de una nueva plataforma oficial que cuenta con el respaldo institucional, pero esto no significa que el desarrollo de SWAD haya llegado a su fin. Nuestra intención en los últimos años ha sido expandir su utilización en otros países, y por supuesto seguir mejorando y ampliando su funcionalidad. Con este objetivo de internacionalización en mente, a lo largo de años de desarrollo el código se independizó de la UGR y se tradujo a 9 idiomas. En 2010 liberamos todo el código bajo licencias de software libre. En 2012 creamos el portal OpenSWAD.org como una instalación de SWAD abierta a todo el mundo de forma gratuita. Si bien OpenSWAD estuvo disponible desde ese año 2012, no fue hasta 2015 cuando la plataforma comenzó a llegar a usuarios e instituciones de muchos países gracias a nuestra inversión en publicidad. En 2016 creamos la OpenSWAD Association [28] para continuar la expansión de la plataforma por todo el mundo. Dado que no contamos con socios inversores y la plataforma se ofrece de manera totalmente gratuita, el esfuerzo económico inicial de la inversión publicitaria ha sido importante, pero es nuestra intención continuar invirtiendo esfuerzos en mejorar la funcionalidad del software y la expansión de OpenSWAD.

Durante el desarrollo de la plataforma nos hemos centrado en la facilidad de aprendizaje y uso (usabilidad), el ahorro de tiempo y la mejora de la calidad en las tareas relacionadas con la enseñanza. SWAD tiene la ventaja adicional de ser rápido y eficiente, consumiendo muy pocos recursos informáticos, por lo que es adecuado para

instalaciones de bajo coste. En comparación con herramientas similares, su implementación en C / MySQL no requiere una gran infraestructura de hardware y software, ni siquiera en grandes instituciones, siendo suficiente un único servidor.

Nuestro enfoque futuro es mejorar el software SWAD para continuar ofreciéndolo a la UGR desde el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores y al mundo entero desde el portal OpenSWAD.org. Los resultados que esperamos a medio plazo se agrupan en torno a los 5 objetivos perseguidos:

1. *Mejora y ampliación de la plataforma*

- Se obtendrá un LMS mejorado que permitirá la elaboración y seguimiento de cursos virtuales, con novedosas herramientas que permitirán mejorar los procesos de docencia-aprendizaje. Incluirá herramientas para el diseño instructivo y colaborativo de contenidos.
- Se podrá estimar el tiempo real dedicado por los estudiantes a cada parte de la asignatura y compararlo con el especificado en la planificación.
- Los partes de actividad permitirán ofrecer recomendaciones a los estudiantes para mejorar sus competencias de gestión del tiempo y autoplanificación.
- Las mejoras en los test permitirán a los profesores abandonar los exámenes en papel durante la evaluación continua. Estudiantes y profesores dispondrán automáticamente de las calificaciones tras el examen. Para los profesores supondrá un gran ahorro en el tiempo dedicado a la corrección de exámenes. A los estudiantes les evitará la demora habitual en la comunicación de los resultados.
- La subida de trabajos desde el móvil permitirá a los estudiantes realizar ejercicios en el papel y subirlos inmediatamente a la plataforma escaneándolos. Las ventajas son evidentes: el estudiante se queda con el original y el profesor no tiene que recoger, transportar y almacenar esos trabajos, que quedan sistemáticamente guardados en la plataforma, donde pueden calificarse.
- El sistema de calificaciones integrado permitirá a los profesores disminuir el esfuerzo de evaluación de los estudiantes que supone confeccionar una hoja de cálculo para guardar y sumar todas las puntuaciones de evaluación continua. Este sistema ayudará a que estudiantes y profesores puedan disponer durante el desarrollo de la asignatura de los pormenores de evaluación actualizados.

- Se mejorará la comunicación entre usuarios en foros, chat y mensajes. Concretamente el sistema de chat había quedado inservible dada la prohibición de las últimas versiones de los navegadores de ejecutar aplicaciones Java. El nuevo sistema de chat usará una tecnología actual y tendrá un aspecto similar al de las aplicaciones de mensajería móvil más extendidas. Las mejoras permitirán la aplicación de gamificación y minería de datos en la comunicación.
- En el desarrollo de las nuevas funcionalidades se hará énfasis en mantener un servicio fiable con un número de errores mínimo. Hay que tener en cuenta que la plataforma se utiliza en muchos países y la competencia es enorme; es muy costoso ganar nuevos usuarios y un servicio con fallos haría que los usuarios abandonaran la plataforma.

2. Integración de gamificación

- Se espera que la aplicación frecuente del sistema de juegos interactivos en el aula (ARS) suponga una mejora en la asistencia, la atención, la participación y el compromiso en clase, y fomente la discusión en el aula de los conceptos erróneos para mejorar el conocimiento, con el resultado de una retroalimentación inmediata y una mejora del rendimiento académico. Además los resultados podrán usarse como parte de la calificación de la asignatura.
- Se espera que el sistema de puntos, insignias y *karma* suponga una mejora en la motivación y participación de los estudiantes, que se pondrá en evidencia directamente en el uso de la plataforma e indirectamente en el rendimiento académico.
- La barra de progreso del perfil del usuario supondrá una retroalimentación para los nuevos usuarios que creemos que disminuirá la tasa de abandono prematuro de la plataforma, sobre todo en OpenSWAD.
- Las barras de progreso en la asignatura permitirán a los estudiantes conocer en todo momento el porcentaje completado en cuanto a archivos descargados, actividades entregadas y cualquier otra funcionalidad que pueda dividirse temporalmente en subtareas.

3. Integración de geolocalización

- La geolocalización en interiores permitirá ubicar usuarios en tiempo real dentro de los centros educativos. Por ejemplo, un estudiante podría saber si en ese momento un profesor se encuentra en su despacho o en un aula.

- El control de asistencia basado en escribir una palabra clave permitirá pasar lista aún más rápido que el actual control de asistencia con códigos QR. La geolocalización minimizará los fraudes en este sistema.
- La gamificación en la edición de puntos WiFi permitirá construir la base de datos colaborativamente, con un menor esfuerzo de administración.
- La gamificación en la ubicación (*check-in*) aumentará el uso de las apps de SWAD y la asistencia a clase.
- Las posibles mejoras en el sistema de geolocalización permitirán ponernos en contacto con otros usuarios de la red social si están cerca de nosotros, mejorar la ubicación de usuarios mediante planos y mapas, saber en qué ubicación nos encontramos o añadir automáticamente nuestra ubicación a los partes de actividad.

4. Integración de técnicas de minería de datos educativa (EDM)

- El estudio en profundidad del estado del arte de los algoritmos y las herramientas de EDM aplicados a nuestro contexto (LMS, gamificación, geolocalización), supondrán una actualización de conocimientos para nuestro equipo. Los experimentos fuera de la plataforma permitirán seleccionar los algoritmos a integrar finalmente.
- La integración de las técnicas de minería estudiadas permitirá:
 - Predecir el rendimiento del estudiante (conocimiento, puntuación o calificación) a partir de su trayectoria en la plataforma.
 - Hacer recomendaciones a los estudiantes con respecto a los temas o secciones a revisar, actividades o problemas a realizar, bibliografía o enlaces a consultar, etc.
 - Proporcionar retroalimentación a los profesores en la toma de decisiones sobre cómo mejorar el aprendizaje de los estudiantes, y permitirles adoptar medidas preventivas o correctivas apropiadas.
 - Monitorizar el progreso del aprendizaje de los estudiantes y mostrar alertas para detectar en tiempo real conductas indeseables como baja motivación, distracciones, mal uso, trampas, abandono, etc.

5. Análisis y difusión de los cambios educativos

- Se estudiará si la incorporación de las funcionalidades, métodos y técnicas desarrolladas motiva a los estudiantes a participar más en el aula y en la plataforma, y si se traduce en unos mejores resultados académicos y una mayor satisfacción. También se analizará el uso y

grado de satisfacción de las nuevas herramientas por parte del profesorado. Los resultados recopilados serán el impacto percibido por los usuarios, así como las mediciones de rendimiento académico y uso de la plataforma comparadas antes y después de la aplicación de los cambios. Concretamente se medirán los siguientes indicadores:

- Rendimiento académico, medido mediante la calificación final.
 - Grado de uso y participación en las funcionalidades de la plataforma, medido mediante análisis de los registros de uso.
 - Motivación y satisfacción de los estudiantes respecto a su proceso de formación, evaluación y tutoría, medido mediante encuestas.
 - Satisfacción de los profesores respecto al uso de estas herramientas como apoyo a su trabajo con especial énfasis en la mejora del proceso de evaluación, medido también mediante encuestas.
- Los resultados serán analizados, agrupados y contrastados para llegar a conclusiones útiles. Los resultados de todo el proceso de I+D+i se publicarán en congresos y revistas sobre educación, gamificación, geolocalización y EDM. Las mejoras y resultados se harán públicos además en las páginas web y redes sociales de la plataforma.

Referencias

1. A. M. Aguilera, “SCAQR: Sistema de Control de Asistencia y calificación en prácticas basado en códigos QR y Android (SWAD)”, *Proyecto Fin de Carrera, Ing. Informática*, UGR, jul. 2012.
2. J. Álvarez, A. E. Rodrigo, “Detección y mejora automáticas de la calidad de fotografías de tipo carné” *Proyecto Fin de Carrera, Ing. Informática*, UGR, dic. 2003.
3. R. Álvarez, “iSWAD: Ampliación del cliente iOS para la plataforma de docencia SWAD”, *Trabajo Fin de Grado, Graduado en Ing. Informática*, UGR, sep. 2016.
4. R. Álvarez, “iSWAD: iOS client for the e-learning platform SWAD.”, *GitHub*, 2016. <https://github.com/Rauleinstein/iSWAD>
5. J. M. Boyero, “Android client for e-learning platform SWAD”, *GitHub*. 2011-2018. <https://github.com/Amab/SWADroid>
6. J. M. Boyero, “Open Hub project SWADroid”, *OpenHub*. 2011-2018. <https://www.openhub.net/p/swadroid>

7. J. M. Boyero, "SWADroid", *Google Play*, 2011-2018. <https://play.google.com/store/apps/details?id=es.ugr.swad.swadroid>
8. J. M. Boyero, "SWADroid, un cliente Android para la plataforma de teleformación SWAD", *Proyecto Fin de Carrera, Ing. Informática*, UGR, jul. 2011.
9. D. J. Calandria, A. Cañas, A. F. Díaz, "Detección de rostros humanos mediante SVM y generación de fotografías de tipo carné." *Actas de SICO'2007*, Thomson, 2007
10. D. J. Calandria, "foto_promedio: programas para calcular la foto promedio y la foto mediana del swad", *GitHub*. 2012. https://github.com/dcalandria/foto_promedio
11. D. J. Calandria, "swad-fotomaton: Face detection tool for SWAD", *GitHub*. 2012-2014. <https://github.com/dcalandria/swad-fotomaton>
12. D. J. Calandria, "swad-ircd: SWAD simple IRC server", *GitHub*. 2012-2014. <https://github.com/dcalandria/swad-ircd>
13. A. Cañas, D. J. Calandria, E. M. Ortigosa, E. Ros, A. F. Díaz, "SWAD: Web System for Education Support." In *Computers And Education: E-learning - from Theory to Practice*, B. Fernández-Manjón, J. M. Sánchez Pérez, J. A. Gómez-Pulido, M. A. Vega Rodríguez, J. Bravo-Rodríguez (Eds.) Chapter 12, pp. 133-142, Springer, 2007.
14. A. Cañas, "SWAD: Gestión Docente en la Web y el Móvil", *Formación virtual para el aprendizaje permanente y el intercambio cultural en el Mediterráneo*, pp. 157-171. Universidad de Granada and Université Virtuelle de Tunis. 2013. <http://elearning.ugr.es/emadraza/pdf/cap10.pdf>
15. A. Cañas, "SWAD: Change log", *OpenSWAD*. 1999-2018. <https://openswad.org/changelog/>
16. A. Cañas, "SWAD: Database", *OpenSWAD*. 1999-2018. <https://openswad.org/database/>
17. A. Cañas, "SWAD: Download source code", *OpenSWAD*. 1999-2018. <https://openswad.org/download/>
18. A. Cañas, "SWAD: Installing SWAD", *OpenSWAD*. 1999-2018. <https://openswad.org/install/>
19. A. Cañas, "SWAD: Plugins, web service and API documentation", *OpenSWAD*. 1999-2018. <https://openswad.org/api/>
20. A. Cañas, "SWAD: Roadmap", *OpenSWAD*. 1999-2018. <https://openswad.org/roadmap/>
21. A. Cañas, "SWAD: Server at UGR", *SWAD-UGR*. 1999-2018. <https://swad.ugr.es/server/>
22. A. Cañas, "SWAD: Source code", *OpenSWAD*, 1999-2018. <https://openswad.org/source/>
23. A. Cañas, "SWAD: Translation", *OpenSWAD*, 1999-2018. <https://openswad.org/translation/>
24. A. Cañas, "Open Hub project swad-core", *OpenHub*. 2013-2018. <https://www.openhub.net/p/swad-core>

25. A. Cañas, “swad-core: Main core for SWAD platform (Social Workspace At a Distance)”, *GitHub*. 2013-2018. <https://github.com/acanas/swad-core>
26. A. Cañas, “Guía del usuario de SWAD / OpenSWAD”, 2016-2018. <https://github.com/acanas/swad-core/wiki/UserGuide.es>
27. A. Cañas, “SWAD / OpenSWAD user guide”, 2016-2018. <https://github.com/acanas/swad-core/wiki/UserGuide.en>
28. A. Cañas, J. M. Boyero, E. M. Ortigosa, M. Anguita, F. J. Fernández, “OpenSWAD Association”, 2016-2017. <https://openswad.org/association/>
29. A. Cañas, D. J. Calandria, J. M. Boyero, E. M. Ortigosa, F. J. Fernández, F. A. Ocaña, “18 years of development and use of the SWAD educational platform”, In: L. Gómez Chova, A. López Martínez, I. Candel Torres, *ICERI2017 Proceedings*, IATED Academy, pp. 5070–5080, 10th annual International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI2017), Sevilla (Spain), November 16-18 2017.
30. A. Cañas, E. M. Ortigosa, J. M. Boyero, F. J. Fernández, M. Anguita, “OpenSWAD: a free social learning platform to support face-to-face and blended learning around the world”, In: L. Gómez Chova, A. López Martínez, I. Candel Torres, *ICERI2017 Proceedings*, IATED Academy, pp. 4917–4926, 10th annual International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI2017), Sevilla (Spain), November 16-18 2017.
31. Capterra, “LMS Software”, 2018. https://www.capterra.com/learning-management-system-software/?sort_options=Highest+Rated
32. A. B. Cara, C. Moreno, “Pizarra virtual y chat para la plataforma de educación SWAD”, *Proyecto Fin de Carrera, Ing. Informática*, UGR, jul. 2007.
33. M. Á. Cerrailo, “TriSWADos: Trivial de la UGR”, *Trabajo Fin de Grado, Graduado en Ing. Informática*, UGR, jul. 2015.
34. EduClick, “EduClick: Sistemas interactivos para el aula.”, 2017. <http://www.educlick.es/>
35. R. Fernández, R. Peña, E. Cerro, “Partes de actividad como herramienta para evaluar el esfuerzo invertido en el aprendizaje.”, *Actas de las XIV Jornadas de Enseñanza universitaria de la Informática (JENUI2008)*, pp. 147–154, 2008.
36. FinancesOnline, “Learning Management Systems - LMS”, 2018. <https://learning-management-system.financesonline.com/>
37. FIND, “FIND: The Framework for Internal Navigation and Discovery”, 2017. <https://www.internalpositioning.com/> <https://github.com/schollz/find>
38. Foursquare, 2018 <https://foursquare.com/about>
39. GetApp, “Learning Management System (LMS) Software”, 2018. <https://www.getapp.com/education-childcare-software/learning-management-system-lms/>

40. J. A. Guerrero, “Ampliación de SWADroid”, *Trabajo Fin de Grado, Graduado en Ing. Informática*, UGR, sep. 2014.
41. H. Ingwersen, “19 Free and Open Source LMSs for Corporate Training”, *Capterra Training Technology Blog*, September 27th, 2017. <https://blog.capterra.com/top-8-freeopen-source-lmss/>
42. A. Lara, “Ampliación y puesta en servicio de iSWAD, aplicación cliente de la plataforma OpenSWAD.org para dispositivos móviles iOS”, *Trabajo Fin de Grado, Graduado en Ing. Informática*, UGR, sep. 2018.
43. A. Lara, “iSWAD.”, *App Store*, 2018. <https://itunes.apple.com/es/app/iswad/id1433797801>
44. A. Lara, “iSWAD: iOS client for the e-learning platform SWAD.”, *GitHub*, 2018. <https://github.com/mitomono/iSWAD>
45. Kahoot! “What is Kahoot!?” , 2018. <https://kahoot.com/what-is-kahoot/>
46. R. H. Kay, A. LeSage, “Examining the benefits and challenges of using audience response systems: A review of the literature”, *Computers & Education* 53 (2009) 819–827.
47. R. Martín, “Ampliación y mejora de la aplicación SWADroid”, *Trabajo Fin de Grado, Graduado en Ing. Informática*, UGR, sep. 2016.
48. D. Medina, “SWADE: Editor WYSIWYG para la plataforma docente SWAD”, *Proyecto Fin de Carrera, Ing. Informática*, UGR, sep. 2013.
49. J. P. Medved, “LMS Industry User Research Report.” *Capterra*, April 8 2015. <https://www.capterra.com/learning-management-system-software/user-research>
50. Menéame. “Algoritmo de cálculo del karma en Menéame.” 2018. <http://meneame.wikispaces.com/Karma>
51. J. Mesa, “Optimización de un sistema automático de detección de caras en fotografías de tipo carné”, *Trabajo Fin de Grado, Graduado en Ing. Informática*, UGR, sep. 2018.
52. D. Montesinos, “Cliente iOS para la plataforma de docencia SWAD”, *Proyecto Fin de Carrera, Ing. Informática*, UGR, sep. 2012.
53. D. Montesinos, “iSWAD: iOS client for the e-learning platform SWAD.”, *GitHub*, 2011–2012. <https://github.com/diegort/iSWAD>
54. OpenCV, “OpenCV (Open Source Computer Vision Library) “, 2018. <https://opencv.org/>
55. OpenSWAD: social learning platform, 2012-2018. <https://openswad.org/>
56. L. Ortiz, “Gestión automática de páginas personales de profesores en un entorno web de gestión docente”, *Proyecto Fin de Carrera, Ing. Informática*, UGR, sep. 2011.

57. M. Ortner, "Top LMS Software Solutions Infographic", *Capterra Training Technology Blog*, November 29th, 2017. <https://blog.capterra.com/top-lms-software-solutions-infographic/>
<https://www.capterra.com/learning-management-system-software/#infographic>
58. QOMO "Audience Response System QOMO's Qclick", 2017.
<http://www.qomosolutions.com/products/audience-response/qrf300/>
59. H. Rodríguez, "Aplicación cliente de la plataforma SWAD para dispositivos Android", *Proyecto Fin de Carrera, Ing. Informática*, UGR, dic. 2012.
60. C. Romero, S. Ventura, "Data mining in education". *WIREs Data Mining Knowl Discov* 2013, 3: 12–27
61. F. Sánchez, J. García, M. Díaz, M. Riesco, J. R. Pérez, A. A. Juan, "Estrategia de diseño y aspectos a considerar en los planes de EEESTudios de Grado en Ingeniería Informática." *ReVisión*, Vol 1, No 1, 2008. [http://aenui.net/ojs/index.php?journal=revisión&page=article&op=viewArticle&path\[\]=5&path\[\]=17](http://aenui.net/ojs/index.php?journal=revisión&page=article&op=viewArticle&path[]=5&path[]=17)
62. SWAD-UGR: platform to support teaching (UGR), 1999-2018. <https://swad.ugr.es/> y <https://swad.es/>
63. A. Valdivia, "Level Up! - El papel de la Ludificación en la construcción de tu perfil profesional." *LinkedIn*, 19 de enero de 2016. <https://es.linkedin.com/pulse/level-up-el-papel-de-la-ludificaci%C3%B3n-en-tu-perfil-alfonso>
64. P. Viola, M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features." *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR*, vol. 1, pp. 511-518, 2001.

Plataforma de entrenamiento para detectar FakeNews en los Recursos Educativos como Internet

David Rojas¹, Pedro Fernández^{2,4}, Mauricio Rodríguez^{3,4}, and Alberto Guillén²

¹ Universidad Camilo José Cela, Campus Villafranca, Madrid, España

² Universidad de Granada, Dpto. Arquitectura y Tecnología de Computadores, Granada, España

³ Universidad de Almería, CITE III, Despacho 27, Almería, España

⁴ Colegio Amor de Dios, Almería, España

david@mulhacen.net, pedro@andared.es, maurirrr@ual.es, aguillen@ugr.es,

Resumen Este trabajo plantea como principal objetivo exponer la problemática de las denominadas “FakeNews” en los entornos educativos y propone una solución software para diagnosticar y entrenar al alumnado. Este tipo de noticias corresponde generalmente a medios de comunicación poco objetivos o creadores de contenidos que buscan ganar fama o repercusión; el problema es que se difunden a gran velocidad por la red, y gracias a la constante interacción en las redes sociales se han convertido en un serio problema contra el que luchar, especialmente en sectores de la población con un criterio menos desarrollado. Partiendo del proyecto italiano #Bastabufale ideado por Laura Boldrini, propuesto por el Gobierno de Italia, se ha planteado el desarrollo de una plataforma software que permita entrenar al alumnado para ver si es capaz de identificar “FakeNews”. También permite recopilar métricas para poder evaluar la capacidad a nivel de individuo y a nivel de clase, siendo una herramienta fundamental para el entrenamiento del alumnado identificando noticias fraudulentas.

Este artículo describe en detalle la problemática así como hace un análisis descriptivo de la solución software propuesta.

Keywords: Noticias falsas · manipulación · realidad alternativa · distorsión · farsa

1. Introducción

Internet se ha convertido en la biblioteca gratuita más consultada a nivel mundial. Es una realidad innegable que nuestros jóvenes (y no tan jóvenes) cada día pasan más tiempo “en la red”. Aunque hay ciertos detractores de este hecho, hemos de aprovechar que el uso de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) puede ser un potente aliado del docente [8]. El problema lo encontramos cuando sabemos que en la red hay cabida para información cierta,

a medias y falsa. Por si ésto no fuera suficiente problema su distinción no es una tarea fácil. Según Chris Palmer, de Electronic Frontier Foundation, “*Recibes un servicio gratuito, y el precio es información sobre ti*” [3] y, una vez se posee suficiente información, la manipulación puede llegar a modificar la opinión o el poder de decisión a la hora de hacer una compra, por ejemplo. Las noticias falsas o “*fake news*” preocupan al 69% de internautas en España según refleja el estudio de *Digital News Report* [22] debido al alto impacto que pueden llegar a tener. Incluso hasta los medios de comunicación publican en ocasiones noticias no contrastadas o falsas [11]. Es de esperar, que si nuestro alumnado lo utiliza como principal fuente de información, deben estar preparados para discernir la información cierta de la falsa. Esta es la motivación para el trabajo presentado en este artículo. Usar la tecnología para protegerse de la tecnología.

1.1. Evolución de los Medios de Comunicación

Los medios de comunicación han ido evolucionando y se ha cambiado el paradigma centralista por uno más descentralizado, haciendo más partícipes a los consumidores finales, que pueden interactuar con los medios mediante comentarios y mensajes. Este cambio de paradigma ha sido propiciado por las redes sociales, que se han convertido en una herramienta habitual para los periodistas (hasta el 70% según [9]). Hace tan solo una década, cuando había que buscar información se acudía a la biblioteca y hemeroteca. Sin embargo, los medios de comunicación se han ido adaptando a los tiempos y hoy en día es prácticamente impensable que uno de estos medios no disponga de versión web debido, en parte, a la demanda de los usuarios. La disponibilidad de conexión a internet en cualquier sitio y la mayor presencia de dispositivos electrónicos (tablet, smartphones, portátiles...etc) han acelerado el proceso [12].

1.2. Velocidad de Creación de Contenidos y sus Consecuencias

Las redes sociales tiene gran parte de culpa o mérito del constante crecimiento que se está viviendo por parte de los medios de comunicación *online*. La repercusión, la difusión y alcance que tienen las noticias o hechos contados por los medios digitales es mayor, en parte, gracias a la enorme cantidad de usuarios con los que cuentan y que no deja de aumentar. De acuerdo con el estudio de WeAreSocial y Hootsuite [15], en Enero de 2018 Facebook contó con cerca de 2.167 millones de usuarios activos en un mes. Esto hace que los intereses por generar “*fake news*” sean mayores debido al alto impacto que pueden llegar a tener.

En el informe de [22] se trabajan una serie de items que pueden llegar a generar una taxonomía para las *fake news* cuya definición como tal no está consensuada:

- El periodismo de baja calidad: sin rigor, con titulares gancho para generar tráfico, sin contraste, etc.

- Noticias donde los hechos han sido tergiversados o manipulados para impulsar una determinada agenda.
- Noticias completamente inventadas por motivos políticos o económicos.
- Titulares que parecen noticias, pero son publicidad.
- Noticias fabricadas con un fin humorístico o satírico
- El uso del término “fake news” o noticia falsa (por los políticos) para desacreditar a un medio que no les gusta.

A principios de siglo se crearon en Estados Unidos las primeras organizaciones encargadas de estudiar cuánto de verdad había en los discursos políticos [17]. En el artículo, los investigadores avisan de la creación de más de cien grupos activos a nivel mundial, de ellos el 90 % se han creado en los últimos seis años. El prestigioso medio alemán “*Der Spiegel*” ha llegado a crear su propio “Departamento de Investigación” encargado de contrastar la información antes de publicarla. La validación a menudo se logra al referirse a fuentes con reputaciones creíbles, buscando el consejo de otros de confianza, y confiando en la experiencia personal para determinar las características de fuentes confiables. Sin embargo, con información obtenida a través de Internet, estas mismas estrategias no siempre son efectivas o no están disponibles [7,21].

Las principales Redes Sociales a nivel mundial en cuanto número de usuarios están comenzando a implementar medidas para lidiar con esta problemática [16]. YouTube (filial de Google Inc.), ya ha anunciado en su blog que invertirá 25 millones de dólares para luchar contra la propagación de noticias falsas y en la alfabetización digital de adolescentes [6]. Facebook también anunció una expansión de su programa de verificación noticias así como otras acciones que está tomando para combatir las noticias falsas publicadas en la red social [5].

2. Fake news en la Educación

Un reciente estudio publicado por [20] ha demostrado de manera fehaciente que las noticias falsas se difunden hasta veinte veces más rápido que las verdaderas en las redes sociales, y los responsables de ello no son los bots, sino las propias personas.

Como ya mencionamos anteriormente, los medios de comunicación han ido evolucionando y gracias a las redes sociales hemos dotado a los usuarios de mecanismos que premian la compartición y la popularidad por encima de todo. Sin embargo, la educación, en general, apenas ha evolucionado desde hace décadas. “*Básicamente, seguimos educándonos, a casi todos los niveles, con los mismos mecanismos que se educaron nuestros padres y nuestros abuelos: libros de texto que tenemos que estudiar, memorizar y posteriormente, repetir en un examen, en diversos formatos.*” afirma Parke en [19]. Esta metodología ha creado una enorme dependencia de la sociedad hacia una determinada fuente de información y evita que desarrollemos criterios apropiados de búsqueda y evaluación de información. De esta manera, la sociedad actual acepta -por normal general- como verdad absoluta el primer resultado que devuelve un buscador, o que creen cierta

cualquier información compartida a través de una red social, especialmente si el contenido es “*trending topic*”. Cuando el usuario capta un contenido compartido por muchas personas, pasa a tener la característica de verdad absoluta. Y no solo cree en esa verdad, sino que además, comparte o sigue esa mentira, logrando mayor popularidad. Hay quienes han aprendido a sacar beneficio de esta vulnerabilidad, y son capaces de generar artificialmente una gran polarización o simular un amplio seguimiento. Por tanto, no solo podemos culpar a los bots en la difusión y propagación de las “fake news” sino a la ausencia de mecanismos de verificación, que sólo pueden adquirirse mediante una correcta educación.

Un reciente estudio de Stanford History Education Group [18] evidencia cómo los estudiantes -especialmente nativos digitales- son frecuentemente engañados por el contenido patrocinado y no siempre reconocen el sesgo político de los mensajes sociales, lo cual evidencia la falta de preparación.

Es indiscutible que la tecnología tiene un amplio abanico de aplicaciones en este campo, ya sea en las labores de verificación de datos o en la verificación de fuentes [4], pero la verdadera solución, se encuentra en cambiar la educación para adaptarla a los tiempos y el entorno tecnológico actual. Y en hacerlo, además, lo antes posible. Por ello, países como Italia, ha lanzado una iniciativa educativa [13] para que los más jóvenes aprendan a detectar noticias falsas. Grandes compañías digitales, como Google o Facebook, participan en el proyecto para que más de 8.000 escuelas de secundaria detecten las *fake news*. Esta iniciativa es la que ha motivado al desarrollo de la plataforma que se describe a continuación.

3. Descripción de la Plataforma Desarrollada

En esta sección se detallan las distintas dimensiones de diseño evaluando las distintas decisiones que se han tomado.

Cabe destacar que el código fuente de la plataforma web ha sido desarrollado a medida por los autores del presente trabajo y está disponible para su libre descarga a través del siguiente repositorio de GitHub:

<https://github.com/pebosch/fakenews>

Esta plataforma ha sido distribuida bajo licencia GNU LGPLv3, que permite copiar, distribuir y / o modificar el software. Además, esta licencia garantiza hacer valer los derechos de autor sobre el software.

3.1. Tecnologías utilizadas

La plataforma implementada para este trabajo ha integrado cinco lenguajes de programación vigentes como son: PHP, SQL, HTML, CSS y JavaScript; tanto para la zona del *Front-End* como el *Back-End*.

La estructura principal de la plataforma ha sido programada en PHP y las consultas a la base de datos se han realizado mediante SQL. El formato de la web se ha realizado con los lenguajes de programación HTML y CSS. Por último, se han desarrollado diversas funciones en lenguaje JavaScript para el control de errores a la hora de la introducción de resultados por parte de los usuarios.

3.2. Directrices de diseño

Estructura de la plataforma web La web se ha pensado para que sea lo más sencilla posible, ya que su uso principal es el educativo. Está compuesta por tres apartados:

1. **Autenticación:** Al acceder a la plataforma web por primera vez el sistema solicitará unas credenciales (usuario y contraseña). Existen dos tipos de perfiles: Alumno y administrador. Al acceder desde el perfil alumno el sistema redirigirá al usuario automáticamente al apartado de votación. Si por el contrario se accede desde el perfil de administrador, el sistema redirigirá al usuario automáticamente al apartado de panel de control.
2. **Votación:** Al alumnado que se ha autenticado correctamente en el portal web, se le muestra una batería de noticias elegidas en base a los indicadores reflejados en el proyecto. Cuando el sujeto ha leído una noticia y la ha evaluado, seleccionado las opciones del formulario que considere correctas, puede pasar a valorar la siguiente noticia pulsando el botón de enviar. Las respuestas del usuario se irán almacenando en la base de datos conforme avance de noticia, pudiendo retomar el cuestionario a mitad aunque el navegador sea cerrado accidentalmente. En la imagen 1 puede verse cómo se muestra al usuario.
3. **Panel de control:** Al administrador que se ha autenticado correctamente en el portal web, se le muestra este panel de control que contiene una selección binaria con la fase en la cual participará el alumnado (según corresponda, Fase 1 o Fase 2 del proyecto). Esto hará que se cargue una batería de noticias diferente para cada una de las fases.

¿Realidad o Ficción?

He terminado de leer la noticia

He usado un buscador para comprobar que la noticia aparece en diversos medios

Sí, es verdadera

No, es falsa

Votar

Figura 1. Detalle para el apartado de votación. Nótese cómo el alumno debe marcar dos casillas aceptando el hecho de que se ha leído la noticia por completo y que ha utilizado otros recursos para validarla.

Organización de los contenidos La plataforma contiene una batería de noticias actuales y acorde con los intereses del alumnado. El objetivo es mostrar los contenidos en una única web lo más sencilla posible para facilitar su uso.

6 D. Rojas et al.

¿Realidad o Ficción?

He terminado de leer la noticia
Marca la casilla si has leído completamente la noticia

He usado un buscador para comprobar que la noticia aparece en diversos medios
Marca esta casilla si has comprobado la noticia en otros medios

Debes indicar si la noticia es verdadera o falsa

Sí, es verdadera

Difundida en otros medios

Autor contrastado y de prestigio

Medio de comunicación fiable

Es actual o con mucha cobertura en medios

Las imágenes que contiene la noticia tienen autor

Hablan de lugares reales y concretos en la noticia

No se pide dinero o recursos en la noticia

No intenta instalarnos ningún programa externo

No hay publicidad de productos milagrosos o aparentemente falsos

El protagonista/s de la noticia NO busca ganar fama con su difusión

No, es falsa

Figura 2. Detalle para el apartado de votación una vez que se toma una decisión el alumno debe seleccionar el motivo de ésta.

Debes indicar si la noticia es verdadera o falsa

Sí, es verdadera

No, es falsa

No difundida en otros medios

Autor desconocido o poca trayectoria

Medio de comunicación desconocido o poco fiable

No actual, evento pasado o irrelevante

Aparecen imágenes sin autor definido

No indican el lugar concreto de la noticia

Se pide dinero o recursos en la noticia

Intenta o sugiere que instalemos un programa externo sin relación con la noticia

Hay publicidad de productos milagrosos o aparentemente falsos

El protagonista/s de la noticia SOLO busca ganar fama con su difusión

Figura 3. Detalle para el apartado de votación una vez que se toma una decisión el alumno debe seleccionar el motivo de ésta.

En los distintos ítems del proyecto se mencionan aspectos de imagen y estética como indicadores, por tanto, se decidió mostrar capturas de pantalla de la web original para así respetar cómo se presentaba la información en cada una de las noticias (verdaderas o no).

En cada noticia se incluye el enlace a la fuente original por si el alumnado participante desea consultar la noticia en profundidad. La imagen 4 muestra una pantalla tal y como la ve un alumno cuando está realizando los ejercicios.

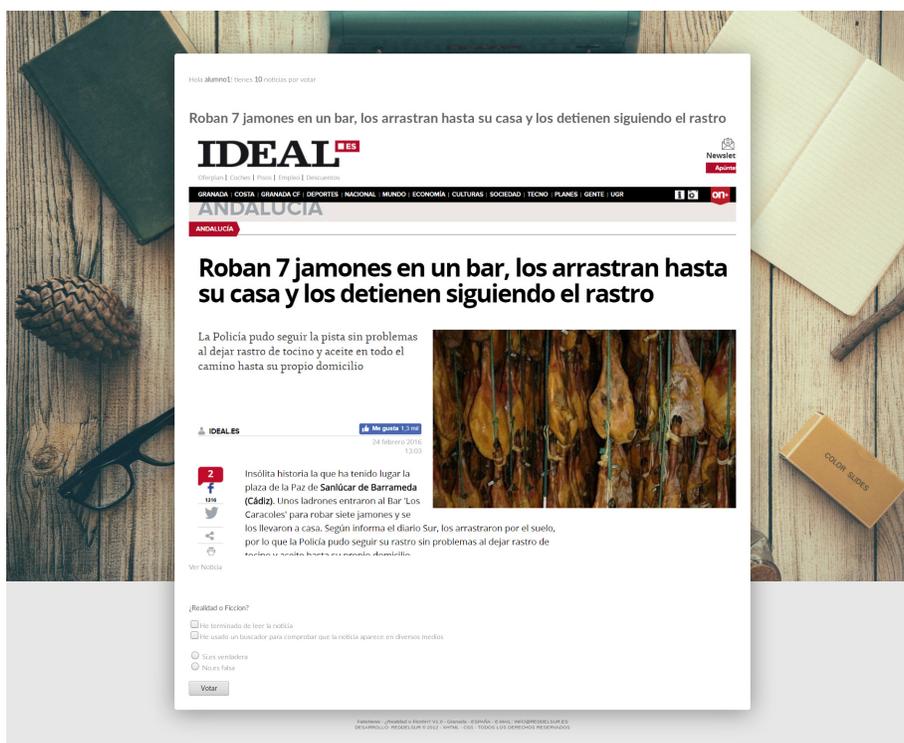


Figura 4. Detalle para el apartado de votación. Nótese cómo el alumno debe marcar dos casillas aceptando el hecho de que se ha leído la noticia por completo y que ha utilizado otros recursos para validarla.

Imágenes y texto Las capturas de las noticias se han hecho con el objetivo de incluir: fecha de publicación, logotipo o nombre del medio, imágenes adjuntas en la noticia y la mayor parte del texto de la noticia.

Consultamos a varios especialistas del departamento de orientación del centro educativo Colegio Amor de Dios y nos propusieron que lo ideal serían 14 minutos para cada sesión/fase teniendo en cuenta que había que desplazarse al aula de informática del centro y que los alumnos debían acceder a la plataforma.

Justificación de las opciones del formulario Cada una de las diferentes opciones a la hora de votar una noticia están basadas en el protocolo del proyecto Bastabufale. Además se incluye un botón en el que confirman los alumnos que han leído la noticia completa.

3.3. Usabilidad y accesibilidad

La plataforma se ha desarrollado siguiendo los actuales estándares de usabilidad y accesibilidad propuestos por [1] a fin de que sea lo más intuitiva posible para el alumnado. La usabilidad se centra en el grado de facilidad sobre el manejo de la página web y en el nivel de satisfacción que reporta al usuario, mientras que la accesibilidad, por su parte, se centra en la dificultad de acceso a los contenidos ofrecidos. Por lo tanto, si hablamos de usabilidad estamos haciendo referencia al público objetivo y cuando hablamos de accesibilidad hacemos alusión a todos los posibles usuarios, incluyendo a aquellas personas con algún tipo de discapacidad. Dado que se trata de una herramienta destinada al ámbito educativo en la que deben hacerse partícipes y protagonistas todos los usuarios independientemente de sus posibilidades físicas, ambos factores se han intentado priorizar y maximizar.

4. Conclusiones

Las noticias falsas son una preocupante realidad que puede marcar a varias generaciones no solo en elementos como qué marca de un producto elegir sino en llegar a modificar la intención de voto. La única solución posible para poder frenar su propagación y minimizar su impacto es mediante la reflexión y el espíritu crítico inculcados durante la etapa educativa. Gracias a la herramienta presentada, el alumnado puede probar su capacidad de discernir lo auténtico de lo falso y desarrollar sus propias heurísticas que, independientemente de que sean más o menos precisas, ayudarán a la persona a madurar.

Referencias

1. Soto, A. P. G., & Miró, J. D. F. (2016). Usabilidad y accesibilidad para un e-learning inclusivo. *Revista de educación inclusiva*, 2(1).
2. Hernández, R. (2018) *Metodología de la investigación*. McGrawHill, NY
3. Pariser, E. (2017). *Cómo la red decide lo que leemos y lo que pensamos*. Penguin Random, Barcelona.
4. Alarcón, A. Barrios, W. Mendoza, J. Pimiento & P. Sánchez (2016) Herramienta para el reconocimiento de referencias bibliográficas. *Investigación y Desarrollo en TIC*, vol. 7, no. 1, pp. 21-28.
5. Mohan, N., Kyncl, R., (2018) Building a better news experience on YouTube, together. Official YouTube Blog.
6. Mosseri, A., (2017) Working to Stop Misinformation and False News. Official Facebook Blog.

7. Paul Gilster. Digital literacy. John Wiley & Sons, New York (1997) M Ward. Surfing for the suckers. *New Scientist*, 156 (1997), p. 29
8. Rodríguez, M (2018) Grupos de trabajo, un medio para mejorar los rendimientos en el área de CCSS a través de las TIC. En Cuadernos de Pedagogía, num 486, febrero 2018, páginas 31-35
9. Marketing Directo. "Las redes sociales son una herramienta habitual para el 70 % de los periodistas", 2018. Recuperado de: <https://www.marketingdirecto.com/digital-general/social-media-marketing/las-redes-sociales-una-herramienta-habitual-70-los-periodistas>
10. Attivissimo, Coltelli, Puente y Quattrociochi (2017) Proyecto #BastaBufale 2018. Recuperado de: <https://www.bastabufale.it>
11. Barcelona, E. (2018). Ocho noticias falsas que nunca debían haberse publicado. Recuperado de: <https://www.elperiodico.com/es/internacional/20170211/kjxvnx-5794804>
12. Delelis, M. G. T. E (2018). Gadgets of generation X and milenials: their social life. Recuperado de: <http://www.garph.co.uk/IJARMSS/Feb2018/7.pdf>
13. Giner (2017) Así aprenden los alumnos de los colegios italianos a detectar las noticias falsas. En Educación 3.0, versión web en <https://www.educaciontrespuntocero.com/noticias/colegios-italianos-ensenan-detectar-fake-news/62976.html>
14. Gilmor (2016). Fix the Demand Sides of News Too. En Niemanlab, 2016. <http://www.niemanlab.org/2016/12/fix-the-demand-side-of-news-too/>
15. Global Digital Report. (2018). Recuperado de: <https://wearesocial.com/blog/2018/01/global-digital-report-2018>
16. González, G., (2017). El estado de las redes sociales en 2017. Recuperado de: <https://www.genbeta.com/a-fondo/el-estado-de-las-redes-sociales-en-2017>
17. Graves, L. y Cherubini, F (2016). The rise of fact-checking sites in Europe. Recuperado de: <http://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/sites/default/files/research/files/The>
18. Stanford History Education Group: «Evaluating Information: The Cornerstone of Civic Online Reasoning», 2017. Recuperado de: <https://stacks.stanford.edu/file/druid:fv751yt5934/SHEG>
19. Parke, M. Skills-based Hiring Goes Coast-to-Coast.(2018) Recuperado de <https://www.forbes.com/sites/gradsoflife/2018/07/03/skills-based-hiring-goes-coast-to-coast/5badc4a19e2f>
20. Vosoghi, S., Roy, D., Aral, S., (2018) The spread of true and false news online *Science* 1146-1151 Recuperado de: <http://ide.mit.edu/sites/default/files/publications/2017>
21. Ward, M. Surfing for the suckers. *New Scientist*, 156 (1997), p. 29
22. Amoedo, A., Vara-Miguel, A., Negrodo, S. (2018) Encuesta online de YouGov para Reuters Institute Digital News Report. Center for Internet Studies and Digital Life, Universidad de Navarra. Recuperado de: <http://www.digitalnewsreport.es/author/avamoedo/>

DESDE EL PUPITRE
(Experiencias de estudiantes)

Diseño y construcción de un guante de datos para el reconocimiento gestual de lenguajes gestuales complejos

José Antonio Jiménez-Montanés y Juan A. Holgado-Terriza

Centro de Investigación en Tecnologías de la Información y la Comunicación.
Universidad de Granada.
Granada, España
{zedwarck@gmail.com, jholgado@ugr.es}

Resumen: La interacción Hombre-Máquina está en constante evolución siendo la interacción gestual una de las interfaces más estudiadas en este ámbito. Sin embargo, las interfaces actualmente disponibles presentan diferentes tipos de problemas (oclusión, lecturas erróneas, etc.) para que puedan ser aplicadas al reconocimiento e interpretación de lenguajes complejos como el lenguaje de los sordomudos.

Para establecer los mecanismos necesarios para lograr una solución al problema de la detección y reconocimiento gestual en este artículo se estudia la fisiología humana gestual en la realización del gesto, la lengua de signos española (LSE) como lenguaje de gestos base, los dispositivos gestuales actuales, las técnicas utilizadas y sus mecanismos electrónico-sensoriales. Además, proponemos el diseño y construcción de un guante de datos junto con un sistema que lo controle con la finalidad de llevar a la práctica los estudios y conclusiones adoptadas de nuestra investigación.

Palabras clave: Guante de interacción, Control gestual, Reconocimiento gestual, Interacción Natural de Usuario.

Abstract: Human-Computer interaction is constantly evolving and gestural interaction is one of the most studied interfaces in this field. However, the currently available interfaces present different types of problems (occlusion, misreading, etc.) making difficult the recognition and interpretation of complex languages such as the language of the deaf-mute.

In order to establish the necessary mechanisms to achieve a solution to the problem of gesture detection and recognition, in this article the human physiology involved in gestures, the Spanish Sign Language (SSL) as a basic gestural language, the current gesture devices, the techniques used and their electronic-sensory mechanisms are studied in details. In addition, we propose the design and construction of a data glove together with a system that controls it in order to put into practice the studies and conclusions adopted by our research.

Keywords: Interaction glove, Gesture control, Gesture recognition, Natural user interaction.

1 Introducción

Vivimos en un mundo donde la comunicación esta globalizada gracias a Internet. Actualmente la barrera del idioma, gracias a los traductores (cada día más sofisticados), ha dejado de ser un motivo por el cual no se pueda establecer una comunicación, e incluso un diálogo, entre diferentes personas por todo el mundo utilizando distintos idiomas. Esta comunicación cada vez más globalizada nos lleva desde el punto de vista tecnológico a buscar nuevas formas de comunicación que faciliten establecer una comunicación fluida en la Aldea Global.

Los seres humanos utilizan en la interacción con otros humanos diferentes tipos de formas de comunicación como la comunicación escrita, la verbal o la gestual. Existen, sin embargo, algunas limitaciones o barreras por sobrepasar para una completa globalización de la comunicación humana en el caso de la comunicación mediante gestos. Estas barreras se deben a las diferencias culturales o incluso al desconocimiento del lenguaje utilizado como ocurre, por ejemplo, entre una persona sorda que habla utilizando un lenguaje de sordos y una persona no sorda que nunca lo ha estudiado. Incluso dentro de un mismo lenguaje gestual la barrera cultural es importante ya que un mismo gesto puede tener distintos significados en varias lenguas distintas.

Dentro del marco de la comunicación gestual existen diferentes tipos de lenguajes adaptados a entornos o contextos concretos, como por ejemplo el lenguaje que se usa para los pilotos de aviones o helicópteros en pistas de despeje, los gestos que realiza una autoridad sobre el tráfico rodado o de forma más compleja la lengua de signos que ayuda a la comunicación de las personas sordas.

Los lenguajes gestuales no solo se utilizan para transmitir información de una persona a otra, sino que también pueden establecer una interfaz de interacción entre el humano y la maquina por la cual el humano sería capaz de controlar la máquina de una manera cómoda y sencilla.

De todos los componentes que intervienen en la comunicación el gesto constituye una de las expresiones humanas más variada y mediante la cual es posible representar una idea o expresar una acción [2]. El uso del gesto en la interacción no es nueva, y se han presentado muchos trabajos aplicando el gesto y su clasificación (gestos estáticos y dinámicos) para adaptarlo a la interacción con las máquinas [3]. Se han propuesto distintas técnicas para lograr su captura y reconocimiento, tales como dispositivos basados en Guante de Datos (DataGlove, en inglés) [1], [4]–[6], dispositivos ópticos (e.g., Leap Motion, Kinect) [7]–[9], dispositivos basados en acelerómetros (IMU) [4], [10], [11], dispositivos táctiles (Touchscreen) [12], [13], dispositivos basados en señales electromiográficas (ej., MYO) [14], y dispositivos basados en tecnología infrarroja y magnética [15], entre otros. Todas estas soluciones presentan restricciones tales como: oclusión, pérdida de señal o calibración, lecturas erróneas, ruido, interferencia lumínica, electromagnética, etc., dependiendo de la tecnología utilizada.

Actualmente existen múltiples dispositivos gestuales que intentan disminuir las barreras del entendimiento gestual, o incluso crear nuevas formas de comunicación gestual como. por ejemplo, el control de una televisión con la mano o incluso el control total de una casa domotizada por medio de gestos [16]. Así mismo, algunos estudios sugieren sistemas basados en guante gestual para el control de otros dispositivos en general usando sistemas empotrados como base para la interpretación de comandos gestuales[17].

El reconocimiento e interpretación de un gesto es prácticamente inmediato entre humanos, salvo que el gesto realizado no sea conocido en el contexto del receptor. No sucede lo mismo con las máquinas. La identificación de un gesto para una máquina requiere aplicar una serie de algoritmos que le permitan, por un lado, reconocer el tipo de gesto realizado, y posteriormente aplicar la acción a realizar en la máquina. Este proceso requiere un tiempo de computo, que, si fuera excesivamente alto, podría producir un retraso tan alto que impedirían sincronizar el receptor con el emisor.

El tema de la presente investigación surgió por la idea de intentar desarrollar nuevas interfaces naturales basado en gestos que ayudase en un futuro a disminuir barreras de comunicación en este tipo de comunicación. Dado que existen múltiples soluciones que resuelven parcialmente el problema de la comunicación gestual, se ha optado en este trabajo por el diseño y desarrollo de un guante de interacción como dispositivo que facilite la interacción entre humanos y las máquinas. Por otra parte, se ha desarrollado un sistema basado en la utilización del guante para la captura y reconocimiento de gestos realizados con dicho guante.

2 El gesto y su fisiología

El gesto es una forma de comunicación humana no verbal que incluye el movimiento de las manos, la cara u otras partes del cuerpo. Con los gestos se puede expresar no solo palabras sino también sentimientos, pensamientos o servir como apoyo o refuerzo a otros sistemas de comunicación como el verbal. Este tipo de comunicación está fuertemente influido por una componente cultural que hace que algunos lenguajes gestuales tengan gestos diferentes para expresar la misma idea como, por ejemplo, el lenguaje de sordos.

En el caso de los gestos de las manos, las estrategias de reconocimiento se pueden dividir en métodos basados en dispositivos hardware, o en métodos basados en visión artificial. En el caso de los métodos basados en hardware, se usan diferentes dispositivos de rastreo entre los que se encuentran los guantes de datos, sensores resistivos flexibles y/o sistemas inerciales.

Los gestos de la mano realizados por un humano suelen clasificarse en gestos estáticos y gestos dinámicos. Los gestos estáticos son aquellos en los que el gesto se mantiene fijo durante un intervalo del tiempo, mientras que los gestos dinámicos son aquellos en los que la posición y orientación de la mano o sus dedos cambia con el tiempo desde una posición inicial a una posición final.



Figura 1. Visión fisiológica de un gesto tipo pronador de antebrazo.

Llevar a cabo un estudio fisiológico y anatómico de cómo se produce el gesto puede ser de vital importancia para no solo comprender como funciona la acción gestual sino para poder capturar los datos más relevantes que se generan en la formación gestual mediante determinados sensores.

Dicho estudio nos ha permitido localizar las zonas musculares que se activan al realizar distintos tipos de gestos, y de este modo podemos comprender cuál es la mejor ubicación para colocar sensores, qué tipo de sensores se pueden utilizar y con qué tipo de datos se puede trabajar. La figura 1 muestra los músculos que se activan al realizar la pronación del antebrazo.

3 Interacción natural basada en gestos

Para que una maquina pueda llevar a cabo una acción a partir de la realización de un gesto por parte de un humano, ésta debe de poder detectar, analizar e identificar dicho gesto para, a continuación, poder ejecutar la acción correspondiente. La elaboración de un gesto por parte de un humano comienza con el envío de una serie de impulsos nerviosos a los músculos implicados en la realización del gesto. Un sistema puede recoger los datos inerciales y de posición de las partes implicadas (mano, dedos) mediante sensores. Estos datos son tratados para extraer las características de los datos que identifican al gesto para que finalmente mediante un sistema de identificación/clasificación se pueda reconocer el gesto realizado y, consecuentemente, ejecutar la acción correspondiente en la máquina. En la siguiente figura 2 se muestran las etapas por las que pasa el reconocimiento e identificación de un gesto.



Figura 2. Proceso de identificación gestual por una máquina

- **Realización del gesto:** El usuario lleva a cabo el gesto estático o dinámico que debe ser reconocido por la máquina.
- **Captura de los datos sensoriales en el tiempo:** Los sensores en esta etapa capturan los datos que representan el movimiento y la posición en el espacio de la parte del cuerpo que realiza el gesto.
- **Extracción de características relevantes a partir de los datos:** Una vez obtenidos los datos que representan el gesto se lleva a cabo la extracción de la información relevante (características) que diferencien los diferentes gestos. Así se reducen los datos que deben ser tratados, lo que hace que el sistema más eficiente.

- **Identificación del gesto a partir de las características:** Se identifica un gesto a partir de las características extraídas en la etapa anterior mediante algún tipo de sistema de clasificación basado en técnicas de “Machine Learning” como SVM.
- **Ejecución de la acción asociada a un gesto identificado:** Al identificar el gesto este debe de asociarse a alguna acción, ya sea para realizar alguna acción física mediante otro dispositivo o incluso la selección de una etiqueta que se le asocie para obtener una interpretación del mismo.

4 Tecnologías para la detección gestual

Existen diferentes tecnologías que se pueden utilizar para la captura de gestos como, por ejemplo:

- **Tecnología óptica:** Gracias a técnicas de visión por computador y sensores que recogen la información a través de la luz como el uso de cámaras normales, infrarrojas, terahercios entre otras, podemos reconocer el gesto haciendo un seguimiento de la parte del cuerpo que lo genera mediante distintos métodos de segmentación y de procesamiento de imágenes.
- **Electromiografía:** La electromiografía es la captación de las señales eléctricas producidas por los músculos durante una contracción muscular. Estas señales son generadas por el intercambio de iones a través de las membranas de las fibras musculares debido a una contracción muscular.
- **Unidades de medición inerciales (IMU):** Es un dispositivo que combina un conjunto de sensores capaces de medir la aceleración, la velocidad angular y el campo magnético. Los sensores que son capaces de medir esas tres magnitudes son el acelerómetro, el giróscopo y el magnetómetro.
- **Sensores resistivos flexibles (FLEX):** Estos sensores detectan el nivel de curvatura al que se les somete a sí mismo. Es ideal para detectar movimientos de flexión y extensión como ocurre con los dedos.

5 Construcción de un guante gestual

El guante de interacción, construido para esta investigación, nos permite determinar el gesto que realiza el usuario a partir de la posición y el movimiento libre de dedos, manos y antebrazo. El gesto puede ser identificado como una postura o pose (gesto estático) o como un cambio de posturas desde una inicial a una final (gesto dinámico).

5.1 Diseño del hardware

El guante está compuesto por tres componentes hardware principales (figura 3): los *componentes de sensorización* encargados de la captación de datos (en verde), el *microcontrolador* encargado del procesado de los datos y un *transceptor* para la transmisión de dichos datos a través de Bluetooth a la unidad de procesado (gris).

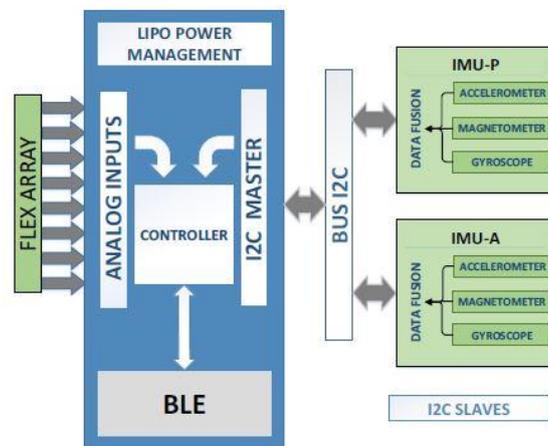


Figura 3. Arquitectura hardware de la solución adoptada

Los componentes de sensorización son esencialmente dos: los Flex resistivos y las IMU. Los Flex, permiten medir la flexión de cada dedo (pueden encogerse o estirarse). En cambio, las IMU nos permite medir el movimiento de la mano y del antebrazo a partir de los cambios de posición, la rapidez con que se realiza dichos cambios y la orientación que tiene con respecto al norte magnético. En el diseño del guante se han utilizado los siguientes componentes de sensorización:

1. Flex Array: Es un conjunto de sensores Flex de tipo resistivo que se conectan a un puerto analógico con un conversor analógico-digital de 10 bits. Los valores de resistencia son leídos de forma analógica por el controlador.

2. BNO055 (IMU-P): Es un sistema inercial que permite tratar los datos de cambio de posición, velocidad y orientación de la mano y del guante antes de ser enviados al controlador. En este caso, además se realiza un pre-cálculo de los Cuaterniones.

3. GY-80 (IMU-A): Es un IMU secundario instalado en la muñeca para la determinación de los ángulos de Euler. Su finalidad es proporcionar mayor robustez en la detección del gesto debido al grado de libertad de la muñeca en relación a la mano y antebrazo del usuario.

5.2 Prototipado

A lo largo de nuestra investigación se fueron creando diferentes prototipos del guante, mejorando siempre ciertos aspectos entre las distintas versiones. Podemos destacar fundamentalmente las siguientes tres versiones:

- **Prototipo inicial en protoboard:** En este prototipo inicial se evaluaron diferentes configuraciones electrónicas antes de llegar a la configuración final. Se estudió, no solo la viabilidad del sistema sino también la compatibilidad de la electrónica usada de los diferentes componentes.

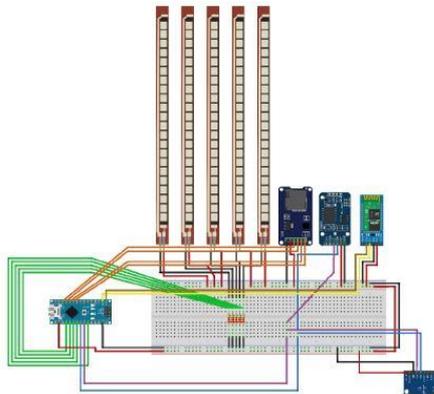


Figura 4. Esquema de la versión inicial del guante gestual

- **Integración de electrónica en guante:** Una vez comprobada la compatibilidad de los componentes y eliminado módulos innecesarios o incompatibles se procedió a crear la primera aproximación del guante gestual. Para ello se cosieron unas tiras de tela elástica sobre un guate de tela. Estas tiras servirían para ajustar los sensores Flex a cada uno de los dedos. Posteriormente se cosieron los módulos de RTC, Bluetooth y la IMU sobre el guante y se conectaron al controlador alojado en una mini protoboard. Las resistencias se soldaron directamente en el cableado.
- **Versión Final:** Mejora de la ergonomía, estética y rendimiento. Se agregó una muñequera al guante para separar la parte del controlador de los sensores principales.



Figura 5. Versión primera del guante gestual (a) y versión final (b)

5.3 Captura de datos gestuales

Con el dispositivo ya funcional, el siguiente paso consistió en capturar los datos en RAW de los sensores del guante de datos para su posterior tratamiento.

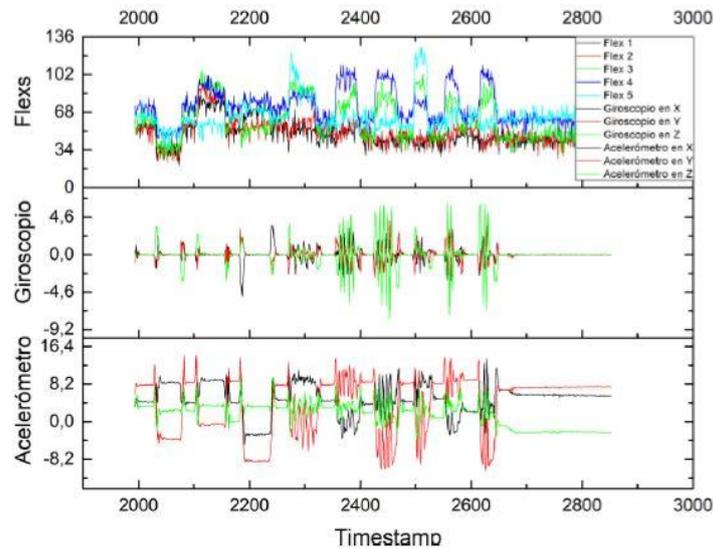


Figura 6. Señales de los datos en RAW obtenidos

Los datos en el cálculo de las velocidades angulares o lineales no son suficientes para la mayoría de las aplicaciones que requieren una unidad inercial, ya que en sí mismos no representan el objeto en el espacio. Para ello se utilizan otros datos que se calculan a partir de los sensores de la IMUs (acelerómetro, giroscopio, magnetómetro). Estos datos suelen ser los Ángulos de Euler o los Cuaterniones. Para nuestro sistema se optó por el cálculo de los cuaterniones para la IMU principal, ya que estos son numéricamente más estables y eficientes, además de evitar el llamado “Bloqueo de Cardán”.

5.4 Acondicionamiento de la señal

Los datos en RAW sin ningún tipo de tratamiento presentan demasiada variabilidad y no son todo lo estables que uno deseara para este tipo de proyecto, por lo que se llevó a cabo un proceso de calibrado de sensores y otro de acondicionado de señal usando para ello el filtro de Kalman reducido y completo.

Como se puede apreciar en la figura 7, los filtros de Kalman estabilizan la señal. De esta manera los datos inerciales pueden ser usados con mayor precisión en nuestras aplicaciones. Igualmente, se aprecia que no existe una diferencia significativa entre la señal filtrada con el filtro de Kalman y la señal filtrada con el filtro complementario. El filtro de Kalman completo es muy costoso en cuanto al cálculo de los datos, así que se llega a la conclusión de que el uso del filtro complementario o filtro de Kalman reducido es la mejor opción para el acondicionamiento de las señales para nuestra investigación.

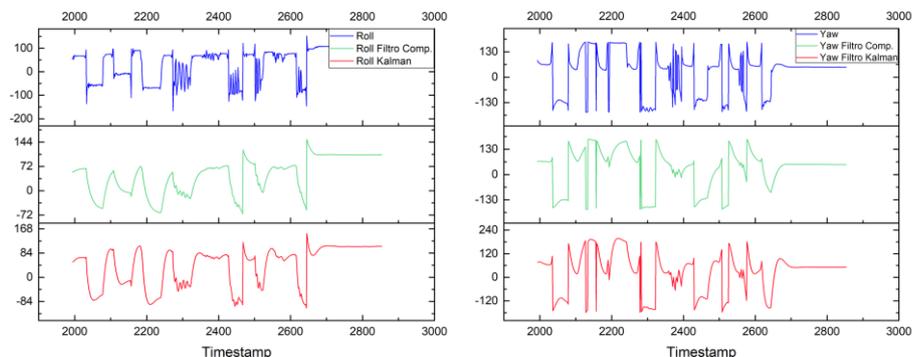


Figura 7. Señales filtradas con filtros Kalman

5.5 Diseño del programa controlador

Para el diseño del programa controlador del guante se ha empleado un modelo basado en *ejecutivo cíclico* con un lazo temporizado que se encarga de realizar las siguientes operaciones:

- Adquisición de los datos del giroscopio, del acelerómetro y de los cuaterniones de la IMU-P.
- Aplicación de un filtrado de datos (filtrado paso bajo y paso alto) usando Kalman. Esto permite obtener los ángulos de Euler en una forma más estable.
- Lectura de los valores de las Flex Sensors.
- Obtención de la orientación del antebrazo a partir de los datos del IMU-A para lo cual primero se realiza un filtrado y normalización de dichos datos para, a continuación, calcular los ángulos de Euler (pitch, roll, yaw). Esto también permite determinar la continuidad del gesto.
- Generación del datagrama de datos con todos los valores obtenidos y/o calculados.
- Envío del datagrama mediante el protocolo Bluetooth.

El programa controlador implementado en C es capaz de transmitir tramas de datos con una frecuencia variable entre 10Hz y 200Hz.

5.6 Identificación del gesto

Los gestos que se pueden realizar en un lenguaje gestual dependen de si hay movimiento durante la realización del gesto (gesto dinámico) o si por el contrario no hay movimiento (gesto estático). En nuestro estudio proponemos que es fundamental identificar el tipo de gesto, ya que los gestos estáticos se representan mediante vectores de características, mientras que los gestos dinámicos requieren matrices en los cuales el tiempo de duración gestual juega un papel muy relevante.

Para lograr identificar si un gesto es dinámico o estático hemos definido a una función $v(x)$ la cual permite medir la variabilidad de las coordenadas del giroscopio relacionadas directamente con el movimiento de la mano y está definida como:

$$v(x) = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=N}^1 \frac{|x_{ix}| + |x_{iy}| + |x_{iz}|}{\omega} \right)$$

Ecuación I. Función $v(x)$ para la identificación del tipo de gesto.

donde ω es el número de ejes del giroscopio principal; x , y , z son las coordenadas espaciales del giroscopio y N es el tamaño del buffer de lectura y depende de la tasa de muestreo (10 Hz en nuestro experimento).

Dependiendo del valor de la función $v(x)$ se puede definir una constante de variabilidad del gesto a la cual hemos llamado k que establece una frontera lógica entre el gesto estático y dinámico. Un gesto es dinámico si $v(x) \geq k$ o estático si $v(x) < k$. El valor de k es un valor mínimo, obtenido del análisis de datos, y que en nuestro estudio tiene un valor de $k = 0,2$. La comparación entre $v(x)$ y k puede ser utilizada en las IMUs, tanto para determinación del tipo de gesto (IMU-P) como su continuidad (IMU-A) de forma conjunta o separada.

La gráfica de la figura 8 muestra como el sistema puede reconocer si se ha realizado un movimiento estático o dinámico. Los datos pertenecen a un conjunto de gestos realizados en un periodo de tiempo.

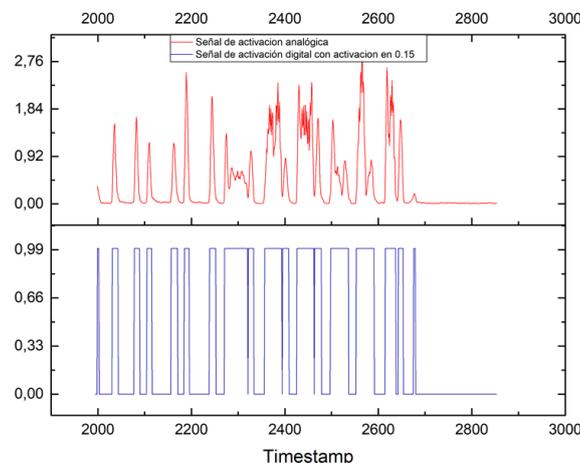


Fig. 8. Activación de la señal calculada en base a la comparación de $v(x)$ con k .

Se observa que, una vez re-muestreada la señal a digital con un valor de activación en este caso de 0.15 (este es el valor k que debería ser variable dependiendo de una previa calibración al usuario), existen activaciones que pertenecen a los periodos donde se está realizando un movimiento y desactivaciones que pertenecen a un gesto estático o sin movimiento. A esto sumamos el hecho de que el posicionamiento de un gesto estático siempre va precedido de un movimiento dinámico para logra dicha posición.

6 Reconocimiento gestual basado en el uso del guante

El reconocimiento e identificación de gestos de la mano a través de un guante de interacción puede ser utilizado para controlar un sistema o un conjunto de dispositivos, así como la traducción de lenguajes gestuales como el LSE.

6.1 Arquitectura del sistema

Para realizar el control de un conjunto de dispositivos utilizando el guante de interacción es necesario contar con varios subsistemas. La figura 9 muestra la arquitectura del sistema utilizando un enfoque cliente-servidor dividida en tres capas. Cada capa tiene un rol específico dentro del sistema.

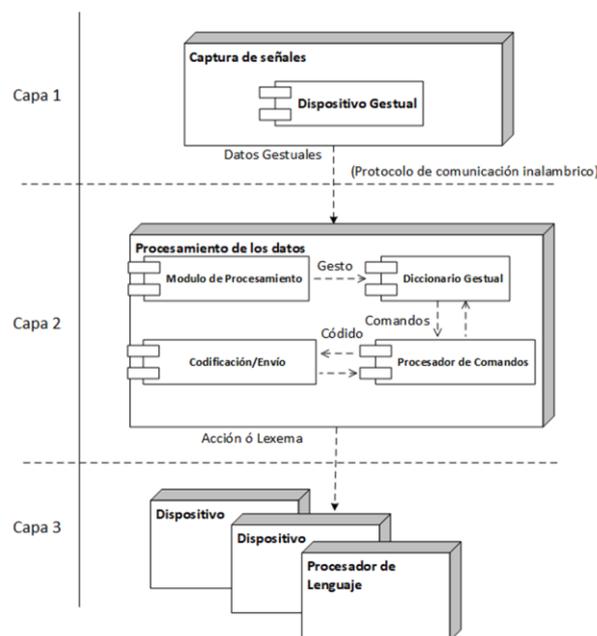


Fig. 9. Arquitectura del sistema de control.

- **Capa 1: Captura de Datos.** Esta capa se encuentra constituida por el guante de interacción que se encarga de capturar los datos generados en cada gesto. Realiza un pre-procesado de la señal, forma la trama de datos y la envía usando el protocolo Bluetooth a la capa superior.
- **Capa 2: Procesamiento de Datos.** Está formada por un sistema con capacidad de procesamiento (e.g., un empotrado). Esta capa recibe la trama de datos desde el guante de interacción y la procesa. El procesamiento incluye la comparación de los gestos a reconocer con unos patrones predefinidos, los cuales están almacenados en la biblioteca gestual. De este modo se logra la identificación de cada uno de los

gestos realizados, los cuales son asociados a una o varias acciones de control. Dichas acciones son comandos o lexemas de un lenguaje gestual.

- **Capa 3: Dispositivos o procesador de lenguaje.** Está conformada por los dispositivos eléctricos y electrónicos que se van a controlar. Se encarga de ejecutar las acciones o comandos identificadas en la capa 2. Así mismo también estaría integrado en esta capa el procesador de lenguaje para la traducción de lenguajes gestuales como el LSE.

6.2 Lenguaje gestual

El lenguaje gestual está formado por un conjunto de gestos que se muestran en la figura 10. Los gestos a, b, c son gestos estáticos, mientras los gestos d, e, f son dinámicos. Los gestos son parte del Lenguaje de Signos Español (LSE), y han sido escogidos por su facilidad y rápida memorización [16].

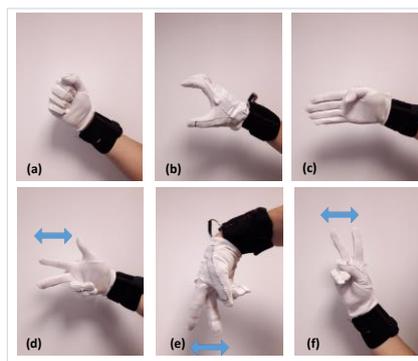


Fig. 10. Biblioteca gestual usada para control usando el guante gestual. Los gestos a, b y c son estáticos. Los gestos d, e y f son dinámicos.

6.3 Protocolo experimental

Los gestos fueron realizados por el usuario durante un periodo de tiempo de 10s. Los datos generados se almacenaron en un archivo CSV para conformar un dataset. Los patrones gestuales identificados conforman la biblioteca gestual a partir del registro del movimiento de la mano y el antebrazo mediante el IMU-P y el IMU-A respectivamente, los cuales forman parte del diseño del guante gestual.

La figura 11 muestra el comportamiento de los Flex Sensors. El eje de abscisas representa la marca de tiempo en milisegundos y el de las ordenadas el valor en ohmios de la resistividad que presenta cada sensor resistivo en cada dedo. Durante la prueba se trató de mantener un gesto estático (el gesto (a) y el gesto (b)). Como se puede apreciar apenas hay variabilidad en la resistividad de los flex, lo cual nos indica que son ideales para el reconocimiento de las flexiones en los dedos que son parte de los gestos.

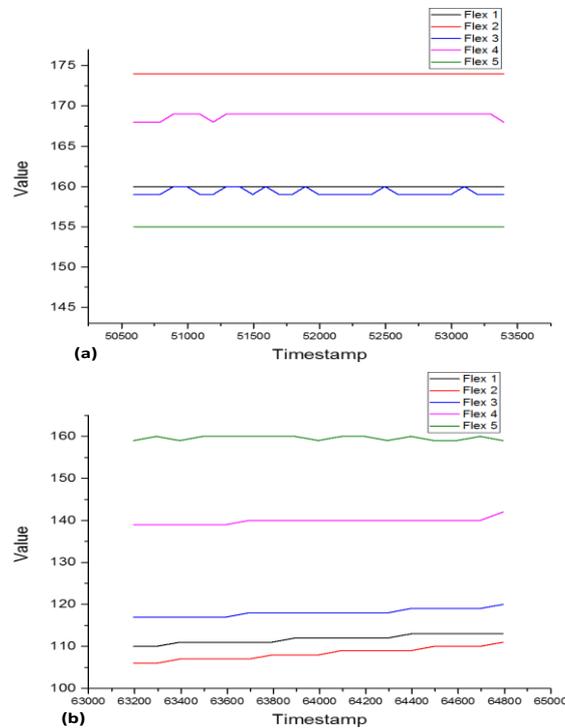


Fig. 11. Comportamiento de los Flex sensor. a) Flex sensor en el gesto (a) con 29 datos tomados a 10Hz.
b) Comportamiento de los Flex sensor en el gesto (b) con 17 datos tomados a 10Hz.

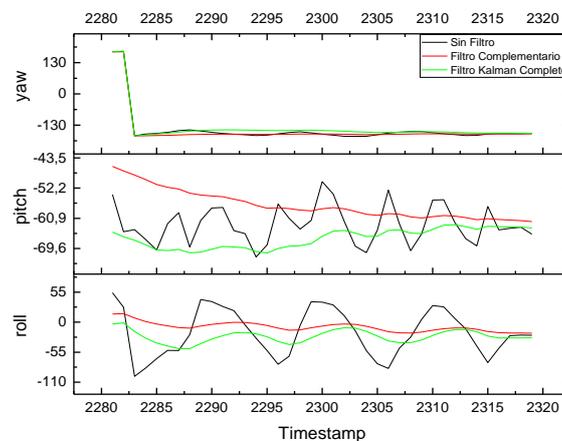
En la figura 12 se puede observar el comportamiento de los datos obtenidos para un gesto de tipo dinámico como el gesto (d). La figura 12.a permite observar los ángulos de Euler sin filtro alguno (color negro), con filtro Kalman reducido o complementario (color rojo) y con filtro Kalman completo (color verde), mientras que la figura 12.b muestra el comportamiento de los Flex Sensors y cuaterniones. Es evidente la estabilización de la señal al usar el filtrado de Kalman (complementario y completo). Pero, en nuestros experimentos tuvo una mejor respuesta en tiempo de cálculo el filtro de Kalman complementario. La variabilidad de los datos nos permite reconocer a un gesto dinámico de un estático.

6.4 Reconocimiento del gesto y posición

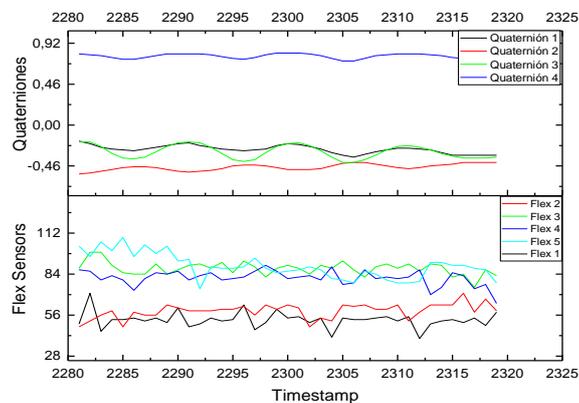
Los datos son recibidos como un datagrama cuya estructura permite separar los distintos valores para cada uno de los sensores. El primer paso en el proceso de reconocimiento consiste en determinar si un gesto es dinámico o estático. La frecuencia de muestreo establecida durante los experimentos fue de 10 Hz. Esto es clave para un sistema que trabaja en tiempo real debido a la rapidez con que se debe identificar el gesto a través de sus variables y satisfacer los estrictos plazos de respuesta.

A continuación, el sistema procesa los datos de los giroscopios determinando $v(x)$ aplicando la ecuación I. El valor de k descrito en dicha sección se fija durante la calibración del sistema y permite determinar si los datos corresponden a un gesto dinámico o estático.

Finalmente, para minimizar el error de muestreo hemos establecido umbrales para la admisión del gesto. Esto tiene por objetivo evitar los falsos positivos por movimientos involuntarios de las manos del usuario. En caso de existir patrones predeterminados, el gesto es considerado inexistente o no definido. El sistema cuenta con un buffer de N datos variable en función de la frecuencia de muestreo.



(a)



(b)

Fig. 12. Reconocimiento del gesto (d) y su comportamiento con 39 datos tomados a 10 Hz. a) Los ángulos de Euler con y sin filtro. b) Los Quaterniones y Flex Sensors.

7 Resultados y discusión

Durante nuestras pruebas el guante gestual tuvo un comportamiento conforme a lo esperado en su manejo y adaptación. Los resultados, en la versión final, estuvieron acordes al resultado esperado. La combinación de las IMUs (IMU-P e IMU-A) al aplicar la ecuación I, nos permitió determinar en forma precisa el gesto y su continuidad. De hecho, un perfeccionamiento del calibrado de todos los componentes de sensorización permitió mejorar el reconocimiento gestual.

El guante gestual, diseñado en base a la arquitectura propuesta en Sección 6.1. presentó un comportamiento estable tanto en su funcionamiento como en su operatividad. Se tuvo especial cuidado en configurar correctamente cada uno de los componentes electrónicos para evitar conflictos entre ellos, así como sujetar debidamente los Flex Sensor para evitar lecturas erróneas.

La tasa de muestreo fue probada entre 10 y 100 Hz, determinándose que la mejor frecuencia se aproxima a los 20 Hz para un reconocimiento óptimo, aunque durante nuestros experimentos se la mantuvo a 10 Hz. La tasa máxima de muestreo, con los dispositivos empleados en la fabricación del guante gestual, puede alcanzar los 200 Hz.

Durante las pruebas iniciales con el sistema de interacción, fue posible identificar los gestos realizados por el usuario en un tiempo razonable de 20 ms. Sin embargo, detectamos que un aumento de la tasa de muestreo del guante gestual provocaba una ráfaga de datos transmitidos muy alta, la cual podía llegar a saturar el buffer de entrada de datos en el sistema. Pensamos que, para resolver este problema, sería necesario establecer una frecuencia máxima de muestreo acorde a todos los componentes del mismo.

8 Conclusiones

Este artículo presenta el diseño y construcción de un guante de datos para interacción gestual usando componentes de bajo costo. El guante de datos puede formar parte de un sistema de interacción y reconocimiento gestual que puede ser aplicado al control de dispositivos eléctricos y electrónicos. La tasa de trabajo del dispositivo fue mantenida en 10Hz, pudiendo llegar hasta los 200 Hz. El tiempo de reconocimiento alcanzó los 20 ms, medido desde la recepción del dato hasta la identificación del gesto. Este resultado es muy aceptable dado que en sistemas empotrados es admisible un retraso máximo de 300 ms [18]. Además, esto nos indica que el guante gestual implementado puede ser usado tanto en la identificación gestual como en procesos de seguimiento (tracking) de los movimientos de los dedos, mano y antebrazo.

Como trabajos futuros pensamos mejorar el sistema de clasificación desacoplando parte del proceso hacia los controladores del guante además de estudiar los datos obtenidos de ambas manos al mismo tiempo. También creemos que este guante gestual puede tener potenciales aplicaciones en la asistencia a personas con discapacidad.

Referencias

- [1] V. I. Pavlovic, R. Sharma, and T. S. Huang “Visual interpretation of hand gestures for human-computer interaction: a review,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 19, no. 7, pp. 677–695, Jul 1997.
- [2] S. S. Rautaray and A. Agrawal, “Vision based hand gesture recognition for human computer interaction: a survey,” *Artif. Intell. Rev.*, vol. 43, no. 1, pp. 1–54, Jan 2015.
- [3] C. K. Lim, Z. Luo, I.-M. Chen, and S. H. Yeo, “Wearable wireless sensing system for capturing human arm motion,” *Sensors Actuators A Phys.*, vol. 166, no. 1, pp. 125–132, Mar 2011.
- [4] A. Asokan, A. J. Pothan, and R. K. Vijayaraj, “ARMatron? A wearable gesture recognition glove: For control of robotic devices in disaster management and human Rehabilitation,” in *2016 International Conference on Robotics and Automation for Humanitarian Applications (RAHA)*, 2016, pp. 1–5.
- [5] T. G. Zimmerman, J. Lanier, C. Blanchard, S. Bryson, and Y. Harvill, “A hand gesture interface device,” *ACM SIGCHI Bull.*, vol. 17, no. SI, pp. 189–192, May 1986.
- [6] M. A. Arenas, J. M. Palomares, J. Olivares, and J. Castillo, “Diseño y Construcción de un Guante de Datos mediante Sensores de Flexibilidad y Acelerómetro,” in *Jornadas Sarteco 2012, 19-21 Sep.*, 2012.
- [7] J. Y. Tung, T. Lulic, D. a Gonzalez, J. Tran, C. R. Dickerson, and E. a Roy, “Evaluation of a portable markerless finger position capture device: accuracy of the Leap Motion controller in healthy adults,” *Physiol. Meas.*, vol. 36, no. 5, pp. 1025–35, May 2015.
- [8] A. Erol, G. Bebis, M. Nicolescu, R. D. Boyle, and X. Twombly, “Vision-based hand pose estimation: A review,” *Comput. Vis. Image Underst.*, vol. 108, no. 1–2, pp. 52–73, Oct. 2007.
- [9] G. Sanahuja, A. Valera, A. J. Sánchez, C. Ricolfe-Viala, M. Vallés, and L. Marín, “Control Embebido de Robots Móviles con Recursos Limitados Basado en Flujo Óptico,” *Rev. Iberoam. Automática e Informática Ind. RIAI*, vol. 8, no. 3, pp. 250–257, Jul. 2011.
- [10] I. Oropesa, T. L. de Jong, P. Sánchez-González, J. Dankelman, and E. J. Gómez, “Feasibility of tracking laparoscopic instruments in a box trainer using a Leap Motion Controller,” *Measurement*, vol. 80, pp. 115–124, Feb. 2016.
- [11] A. Sanna, F. Lamberti, G. Paravati, and F. Manuri, “A Kinect-based natural interface for quadrotor control,” *Entertain. Comput.*, vol. 4, no. 3, pp. 179–186, Aug. 2013.
- [12] S. Ljubic, V. Glavinic, and M. Kuvec, “Finger-Based Pointing Performance on Mobile Touchscreen Devices: Fitts’ Law Fits,” in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 9175, no. 2, M. Antona and C. Stephanidis, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 318–329.
- [13] Z. Lv, A. Halawani, S. Feng, S. ur Réhman, and H. Li, “Touch-less interactive augmented reality game on vision-based wearable device,” *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 19, no. 3–4, pp. 551–567, Jul. 2015.
- [14] G. Pomboza-Junez and J.A. Holgado-Terriza, “Hand gesture recognition based on sEMG signals using Support Vector Machines,” in *2016 IEEE 6th International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin)*, 2016, pp. 174–178.
- [15] F. Erden and A. Çetin, “Hand gesture based remote control system using infrared sensors and a camera,” *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 60, no. 4, pp. 675–680, Nov. 2014.
- [16] G. Pomboza-Junez and J.A. Holgado-Terriza, “Control of home devices based on hand gestures,” in *5th IEEE International Conference on Consumer Electronics - Berlin, ICCE-Berlin 2015*, 2016, pp. 510–514.
- [17] J. A. Jimenez-Monañes, G. Pomboza-Junez and J. A. Holgado-Terriza, “El gesto aplicado al control de dispositivos en tiempo real usando un guante de interacción de bajo costo” in *Jornada Sarteco 2017*, 2017, pp. 605-611.
- [18] J.-U. Chu, I. Moon, Y.-J. Lee, S.-K. Kim, and M.-S. Mun, “A Supervised Feature-Projection-Based Real-Time EMG Pattern Recognition for Multifunction Myoelectric Hand Control,” *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 12, no. 3, pp. 282–290, Jun. 2007.

Instrucciones para Autores

Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores (Teaching and Learning Computer Engineering) es una revista de Experiencias Docentes en Ingeniería de Computadores que edita el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada, se publica anualmente, y se difunde tanto en papel como electrónicamente, a través del repositorio institucional de la Universidad de Granada (<http://digibug.ugr.es/>).

Los artículos remitidos para su evaluación pueden estar escritos en castellano o inglés, incluyendo un resumen y palabras clave en inglés en caso de que estén escritos en castellano, y deben seguir el formato descrito en la dirección web:

http://atc.ugr.es/pages/actividades_extension/

El correspondiente fichero .pdf debe enviarse a la dirección de correo electrónico jortega@ugr.es o mdamas@ugr.es

Los artículos deben abordar, tanto contenidos relacionados con la docencia universitaria en general, como con la docencia de asignaturas específicas impartidas por las áreas de conocimiento involucradas en estudios relacionados con la Ingeniería de Computadores, y también pueden aspectos relativos a las competencias profesionales y la incidencia de estos estudios en el tejido socio-económico de nuestro entorno.

En particular, se anima a antiguos alumnos de los estudios de Informática y a estudiantes de grado y posgrado a que envíen colaboraciones relacionadas con sus experiencias al cursar asignaturas relacionadas con la Ingeniería de Computadores, sugerencias, propuestas de mejora, etc.

Teaching and Learning Computer Engineering

**Journal of Educational
Experiences on Computer
Engineering**

October 2018, Number 8

