

Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores

Revista de Experiencias
Docentes en Ingeniería de
Computadores

Número 10, Diciembre 2020



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 10, Año 2020

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)
Goiuria Sagardui Mendieta (Universidad de Mondragón)
Manuel Ujaldón Martínez (Universidad de Málaga)
Miguel Ángel Vega Rodríguez (Universidad de Extremadura)
Victor Viñals Yúfera (Universidad de Zaragoza)

ISSN: 2173-8688, **ISNN versión electrónica:** 2695-5261

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
El cuatrimestre de la COVID-19 en la asignatura de Arquitectura de Computadores: reflexiones sobre la incidencia de la pandemia en la docencia universitaria <i>J. Ortega, M. Anguita</i>	5
El ecosistema de aprendizaje del estudiante universitario en la post-pandemia. Metodologías y herramientas <i>F. Charre, A.J. Rivera, J. Medina, M. Espinilla</i>	15
Estudio de la influencia del confinamiento debido a la COVID-19 en padres, alumnado y profesorado en ESO y FP <i>R. Pérez, C. Villalonga, O. Baños, A. Guillén</i>	39
La Aritmética del Futuro: una Reflexión sobre los Planes de Estudio <i>R. Murillo, A.A. Del Barrio, G. Botella</i>	49
Análisis del uso de asistentes virtuales en el aula como recurso complementario en la práctica docente <i>M. del Sol Pérez, C. Villalonga, A. Guillén, O. Baños</i>	61
Software de Realidad Aumentada para la enseñanza-aprendizaje de la asignatura Informática en la Ingeniería Mecánica <i>I. Mayol Céspedes, J.A. Leyva-Regalón, J.A. Leyva-Reyes</i>	67
Simulación y control digital de un motor DC con Scilab-XCOS <i>G. Olivares, F. Gómez, M. Damas</i>	75
Instrucciones para autores	91

Editorial

Cuando parece que está empezando a ceder la segunda oleada de la pandemia por la enfermedad del corona-virus SARS-CoV-2 (COVID-19) presentamos el décimo número de la revista Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores, editada anualmente por el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada. Para una iniciativa editorial como la que representa esta revista, centrada en la docencia Universitaria de un área, la Ingeniería de Computadores, que puede considerarse muy específica, alcanzar diez años representa un hecho importante, y por ello nos gustaría agradecer el trabajo de todos los que han contribuido a la edición de estos diez números, especialmente a los autores de los 100 artículos publicados en ellos, a los revisores, y a los miembros del Comité Editorial.

En cualquier caso, no creemos equivocarnos si afirmamos que este año 2020 será recordado por todos nosotros como el año de la COVID-19, la pandemia de trágicas consecuencias para muchos, que ha acarreado cambios importantes en las vidas de todos, y, consecuentemente, transformaciones relevantes en nuestra labor docente. Así, de los siete artículos que componen este décimo número, elaborados por profesores de cinco Universidades (Universidad de Jaén, Universidad de Granada, Universidad de Granma en Bayamo, Cuba, Universidad Complutense de Madrid, y Universidad Internacional de La Rioja), al menos tres hacen referencia directa a la influencia de la COVID-19 en la docencia. Además, algunos artículos más consideran aspectos como la realidad aumentada, los asistentes virtuales o el uso de software libre de simulación, que resultan de enorme interés para las condiciones en las que se ha desarrollado y está teniéndose que desarrollar la docencia bajo la pandemia.

En “El cuatrimestre de la COVID-19 en la asignatura de Arquitectura de Computadores: reflexiones sobre la incidencia de la pandemia en la docencia universitaria”, Julio Ortega y Mancia Anguita, de la Universidad de Granada describen la forma en que la pandemia de COVID-19 ha afectado a la docencia de Arquitectura de computadores del grado en Ingeniería Informática en cuanto al uso de plataformas para impartir las asignaturas, grabar las clases, y elaborar y realizar exámenes no presenciales, incluyendo el análisis de las circunstancias que acompañan la evaluación no presencial y sus consecuencias en el ámbito de las relaciones entre estudiantes y profesores, y en la formación ética como ingenieros que debemos transmitir a nuestros estudiantes.

Un análisis muy exhaustivo acerca de las consecuencias en las metodologías docentes en asignaturas de Ingeniería de Computadores se presenta en “El ecosistema de aprendizaje del estudiante universitario en la post-pandemia. Metodologías y herramientas”, de

Francisco Charte, Antonio J. Rivera, Javier Medina y Macarena Espinilla, de la Universidad de Jaén. En el artículo, se detallan los elementos que determinan la transición desde una enseñanza tradicional y presencial a otra de tipo remoto, como consecuencia del confinamiento a raíz de la COVID-19. También se analizan las consecuencias relacionadas con el hecho de que los cambios se han tenido que realizar aceleradamente, afectando no solo al desarrollo de las clases, sino también a las actividades prácticas en laboratorio, de comunicación y de evaluación de competencias.

Para concluir la presentación de los tres artículos que consideran explícitamente el efecto en la docencia de la pandemia por COVID-19, en “Estudio de la influencia del confinamiento debido a la COVID-19 en padres, alumnado y profesorado en ESO y FP”, de Rosa Pérez, Claudia Villalonga, Oresti Baños, y Alberto Guillén, de la Universidad de Granada y la Universidad Internacional de La Rioja se describe una investigación centrada en cómo afecta el confinamiento decretado por la COVID-19 en el estrés, motivación y aprendizaje de alumnos, padres y profesores de secundaria, bachillerato y formación profesional. Las consecuencias de las circunstancias en que ha tenido que desarrollarse la docencia en la Enseñanza Secundaria durante el segundo cuatrimestre de 2020, posiblemente tendrán que ser evaluadas y tenidas en cuenta cuando estos estudiantes lleguen a nuestras aulas en la Universidad.

En “La Aritmética del Futuro: una Reflexión sobre los Planes de Estudio”, Raúl Murillo, Alberto A. Del Barrio, y Guillermo Botella, de la Universidad Complutense de Madrid, se revisan los nuevos formatos aritméticos que han entrado en escena con el renovado interés experimentado en la última década por las técnicas de aprendizaje automático basadas en redes neuronales. En particular se analizan los más significativos, entre los que cabe destacar especialmente los *posits*, introducidos en 2017 por John L. Gustafson como un reemplazo directo del punto flotante, y se reflexiona sobre su inclusión en los planes de estudio y sobre la forma en que se debería contemplar la Aritmética de Computadores en dichos planes.

La disponibilidad de recursos docentes basados en el uso de las TIC plantea alternativas didácticas que pueden resultar bastante útiles. No obstante, su uso no es garantía de mejora del rendimiento académico y es necesario realizar una cuidadosa evaluación de su impacto y de los beneficios que pueden aportar. El artículo “Análisis del uso de asistentes virtuales en el aula como recurso complementario en la práctica docente”, de María del Sol Pérez, Claudia Villalonga, Alberto Guillén, y Oresti Baños, de la Universidad de Granada y de la Universidad Internacional de la Rioja, se describe una investigación realizada con alumnado real sobre la eficacia de las respuestas generadas por los asistentes virtuales con voz como Google *Nest* o Amazon *Echo*, utilizados como material de apoyo para el docente en la asignatura de Tecnología en la Educación Secundaria Obligatoria.

En la misma línea, el artículo “Software de Realidad Aumentada para la enseñanza-aprendizaje de la asignatura Informática en la Ingeniería Mecánica”, de Irisleydis Mayol Céspedes, José Antonio Leyva-Regalón y José Antonio Leyva-Reyes, de la Universidad de Granma en Bayamo (Cuba) describe los resultados de la investigación realizada sobre la aplicación de un software de Realidad Aumentada en la asignatura Informática de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Granma. Las conclusiones del trabajo ponen de manifiesto una incidencia positiva tanto en la motivación de los estudiantes como de todo el proceso de enseñanza-aprendizaje.

En cuanto al uso de herramientas de software libre para la docencia de los sistemas de control, en “Simulación y control digital de un motor DC con Scilab-XCOS”, Gonzalo Olivares, Francisco Gómez, y Miguel Damas, de la Universidad de Granada, tras analizar las distintas alternativas, consideran la utilización de Scilab-XCOS como alternativa viable para el diseño y simulación de sistemas de control, y también como herramienta de control en tiempo real de sistemas mecatrónicos básicos, para los laboratorios de prácticas de las asignaturas correspondientes de grado y master que se imparten en la Universidad de Granada.

Para concluir este editorial, y más si cabe en este año de pandemia, reiteramos nuestro agradecimiento a los autores de los artículos presentados, sin cuyo esfuerzo y confianza no hubiera sido posible editar este décimo número de la revista, y a los revisores de los artículos, por sus comentarios y sugerencias, que han contribuido a la mejora de los artículos presentados. Finalmente, agradecemos el apoyo recibido por el profesor Miguel Damas, Director del Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada, y al Repositorio Institucional de la Universidad de Granada, a través de cuya página web (digibug.ugr.es) se puede acceder electrónicamente a la revista.

El Comité Editorial

El cuatrimestre de la COVID-19 en la asignatura de Arquitectura de Computadores: reflexiones sobre la incidencia de la pandemia en la docencia universitaria

Julio Ortega, Mancia Anguita
Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores
E.T.S.I.I.T., Universidad de Granada
[jortega,manguita}@ugr.es](mailto:{jortega,manguita}@ugr.es)

Resumen. La pandemia de COVID-19 ha afectado de forma significativa a la docencia de las asignaturas universitarias del segundo cuatrimestre del curso 2019-20 y del primer cuatrimestre del 2020-2021. Así, se ha requerido usar plataformas para impartir las asignaturas a través de videoconferencias, grabar las clases, y elaborar y realizar exámenes no presenciales. En particular, las circunstancias que acompañan la evaluación no presencial han generado situaciones que deben analizarse en el ámbito de la relación estudiante-profesor y estudiante-estudiante, precisamente en un contexto en el que la limitada interacción a distancia entre docentes y estudiantes ha dificultado en muchos casos alcanzar el nivel de confianza necesario para lograr los niveles de aprendizaje que se conseguían a través de clases presenciales. Esta situación se ha sido evidente en asignaturas con grupos muy numerosos, tal y como ocurre en el caso de la asignatura Arquitectura de Computadores del grado en Ingeniería Informática de la Universidad de Granada, que se considera en este artículo.

Palabras clave: Arquitectura de Computadores, Docencia no presencial. Evaluación del aprendizaje.

Abstract. The COVID-19 pandemic has significantly affected the teaching of university subjects in the second quarter of the 2019-20 academic year and the first quarter of 2020-2021. Thus, it has been necessary to use technological platforms to teach the subjects through videoconferences, to record the classes, and to prepare and carry out remote exams. In particular, the circumstances that accompany the remote assessment have generated situations that must be analysed in the area of the student-teacher and student-student relationships, precisely in a context in which the limited distance interaction between the teacher and his or her students has made it difficult in many cases to achieve the level of confidence achieved through face-to-face classes. This situation has been clearly evident in subjects with very large groups, as has been the case with the Computer Architecture subject of the degree in Computer Engineering at the University of Granada, which is considered in this paper.

Keywords: Computer architecture, face-to-face classes, remote assessment, remote teaching.

1 Introducción

En artículos previos publicados en esta revista [1-4] se han considerado distintos tópicos relacionados con la docencia de la arquitectura de computadores como asignatura de grado en ingeniería informática. Así, en [1] se reflexiona acerca de los contenidos de una asignatura de arquitectura de computadores de 6 créditos ECTS (*European Credit Transfer System*), créditos del EEES (Espacio Europeo de Educación Superior) o créditos de la reforma Bolonia, y en [2] se evalúan algunos resultados y conclusiones que se podían derivar tras varios años de docencia de la asignatura. Finalmente, en [4] se actualiza y completa la revisión de contenidos de Arquitectura de Computadores describiendo su situación al comenzar la década de 2020, analizando los nuevos requisitos de las interfaces que definen la jerarquía de capas propia de los sistemas de cómputo (fundamentalmente en cuanto a seguridad, consumo energético, y aprovechamiento del paralelismo heterogéneo). Si bien el propósito de [4] era poner de manifiesto los cambios que deberían introducirse en la enseñanza superior de la Ingeniería de Computadores, el artículo se centraba fundamentalmente en la justificación de los contenidos que definen la materia de las asignaturas de ingeniería de computadores, sin apenas considerar las cuestiones relacionadas con la metodología docente. Precisamente, en otros trabajos previos [2] se reflexionaba sobre las consecuencias que las tecnologías informáticas pueden tener sobre el aprendizaje a partir de algunos resultados de la neurociencia, sobre la motivación en el estudio de las asignaturas de ingeniería de computadores [3], y sobre los beneficios que puede reportar al aprendizaje incluir elementos de la historia de los computadores para construir un relato de la asignatura que ayude a contextualizar los conceptos que se van abordando dentro del desarrollo de la disciplina [3]. En la línea de lo que se hacía en [4] en relación con los contenidos de la materia, en el presente trabajo se vuelven a considerar cuestiones metodológicas, y de motivación al comienzo de la década de 2020, pero ahora teniendo en cuenta las circunstancias derivadas de la pandemia de la COVID-19, que nos afecta desde el segundo cuatrimestre del curso 2019-2020. Precisamente, la adaptación de la docencia presencial a un contexto no presencial en un lapso de tiempo reducido, ha introducido una serie de problemas a tener en cuenta, así como la necesidad de reflexionar acerca de ciertas cuestiones relacionadas con la necesidad de promover ciertos valores éticos en la formación de nuestros estudiantes.

En efecto, recordaremos el segundo cuatrimestre del curso 2019/2020 por la incidencia de la pandemia en muchos aspectos de nuestra vida, y la docencia universitaria no ha sido una excepción entre las actividades que se han visto afectadas significativamente por esta pandemia, que ocasionó la declaración del estado de alarma en nuestro país, con el consiguiente confinamiento de la población y la suspensión de la actividad docente presencial desde mediados de marzo de 2020. Prácticamente todo el segundo cuatrimestre del curso 2019/2020 se impartió de forma no presencial (término que es el que se ha extendido, aunque quizá sea más adecuado usar el más tradicional “a distancia”). Impartir asignaturas de un plan de estudios universitario de forma no presencial o a distancia, implica satisfacer ciertos requisitos en cuanto a la explicación de los contenidos, el tipo de material que se proporciona a los estudiantes, y la evaluación de los conceptos asimilados y las competencias

alcanzadas. Esta adaptación de la docencia se tuvo que hacer en su momento con cierta premura y no siempre se han adoptado herramientas y estrategias adecuadas, para la docencia a distancia.

Así, la Sección 2 de este artículo describe la metodología seguida para impartir la asignatura de Arquitectura de Computadores en el grado de Ingeniería Informática, según las directrices del EEES (reforma de Bolonia). En la Sección 3 se analizan las consecuencias del paso a la docencia no presencial tras el confinamiento decretado durante la primera oleada de la pandemia de la COVID-19. Una de las consecuencias más conflictivas y complicadas de implementar ha sido la evaluación no presencial de los aprendizajes, tal y como se muestra en la Sección 4, junto con su deriva ética. Finalmente, la Sección 5 proporciona las conclusiones del artículo junto con algunas propuestas para el futuro.

2 Arquitectura de computadores en Ingeniería Informática (UGR)

La asignatura de Arquitectura de Computadores se imparte en el segundo curso del grado en Ingeniería Informática de la Universidad de Granada. Se trata de una asignatura obligatoria cuyos objetivos y contenidos se han descrito en [1]. En [3] se proporciona un marco conceptual para la asignatura, y su guía docente se puede encontrar en [5]. La adaptación al EEES de los contenidos de arquitectura de computadores que se impartían en las titulaciones de Ingeniería informática previas supuso, aparte de una reducción considerable de créditos de docencia presencial de teoría y prácticas, la incorporación de ejercicios voluntarios de evaluación continua y la realización de pruebas para cada uno de los temas del programa. En un principio, el porcentaje de la nota final que correspondía a estas pruebas de evaluación era bastante pequeño: uno o dos puntos a lo sumo, y en la mayoría de los casos, eran puntos que se añadían a la nota final, solo si ésta alcanzaba un porcentaje mínimo de la nota máxima. En realidad, cuando se incluyeron estas pruebas de evaluación continua en las asignaturas de arquitectura de computadores, se pensaba más bien en que los estudiantes recibiesen realimentación acerca de su aprendizaje sobre los contenidos y las competencias que iban alcanzando en la asignatura. Se trataba de llevar a cabo la denominada evaluación formativa.

Sin embargo, una de las consecuencias de los estudios y discusiones sobre metodologías docentes que tuvieron lugar con motivo de la implantación del EEES fue la incorporación de la evaluación continua en prácticamente todas las asignaturas de todos los planes docentes. Se ha considerado que mediante la realización de actividades de evaluación continua se daba respuesta al problema que planteaban los exámenes finales únicos en cuanto a su limitación para evaluar todos los resultados de aprendizaje que se establecen en las guías. Si se pretende que los estudiantes sean capaces de resolver determinado tipo de problemas, es conveniente que se les planteen relaciones de problemas y se discutan en clase. En la mayoría de las asignaturas en carreras científicas o técnicas ya se acostumbraba a acompañar cada tema con una relación de problemas cuya resolución se aborda en clase. En grupos

con un número moderado de estudiantes, la resolución de problemas en clase, las discusiones en seminarios, la aplicación esporádica de cuestionarios, o la propia formulación de preguntas en el desarrollo de las clases teóricas permite conocer a los estudiantes con cierto detalle e implementar la evaluación continua sin tener que realizar un número considerable de exámenes.

El problema es que, en grupos de clase numerosos (en el caso de los grupos de teoría ha habido años con grupos de hasta cien estudiantes), la única forma viable de implementar la evaluación continua implica que esté basada prácticamente solo en exámenes. Si además tenemos en cuenta que, en cada cuatrimestre, un estudiante debe cursar simultáneamente un número considerable de asignaturas, la competencia entre asignaturas por el interés y el trabajo del estudiante es un factor que debe tenerse en cuenta al planificar la asignatura. Esta situación nos hizo cambiar, hace un par de cursos, la forma en que se organizaba la evaluación de los contenidos de la asignatura. Por un lado, se incrementó el valor de las notas de evaluación continua: 4 puntos para la evaluación continua de teoría, que se obtenían tras cuatro pruebas de un punto cada una, realizadas al finalizar cada uno de los temas de teoría, y 2 puntos para la evaluación continua de las prácticas de la asignatura, que se obtenían a partir de las respuestas a cuestionarios que se pasaban en la clase práctica, más las calificaciones de las memorias de prácticas. Hay que tener en cuenta que los grupos de prácticas son menos numerosos que los de teoría: tienen unos 25 estudiantes.

Aparte de la evaluación continua, la reforma de Bolonia promueve que el profesor aplique la metodología docente más adecuada para los contenidos de la asignatura dando más relevancia al papel del estudiante como protagonista de su propio aprendizaje. En general, se favorece el aprendizaje basado en problemas y se intenta reducir el protagonismo de la lección magistral, que se suele identificar con el aprendizaje memorístico por parte del estudiante, y que se considera que puede ser sustituida por la disponibilidad de material en internet y a través las plataformas que suelen utilizarse para la docencia de las asignaturas. Sin embargo, el hecho de que se disponga del material de la asignatura a través de la correspondiente plataforma docente, no está contribuyendo de forma totalmente positiva al aprendizaje [7]. Así, aunque el aprovechamiento de las tecnologías de la información y las comunicaciones ha sido un elemento esencial para mejorar la calidad de la enseñanza universitaria, y plataformas docentes de fácil acceso y uso, como SWAD [6], han contribuido a difundir y acceder a material docente, mejorar la comunicación profesor-estudiante, y facilitar la gestión de los grupos, entre otras facetas de la docencia, dado que se dispone de las transparencias de clase y de las soluciones a problemas propuestos, muchos estudiantes no se preocupan de tomar apuntes ni de trabajar sobre otros problemas no resueltos de la asignatura. Simplemente, consideran que en su momento podrán asimilar la información, cuando vaya aproximándose el examen. Como si se tratase de copiar un fichero desde un directorio (en el disco) a otro (en el cerebro).

Sin embargo la neurociencia nos dice que nuestra memoria no funciona como el disco duro de nuestros computadores [8]. De hecho, los modelos más aceptados actualmente indican que el aprendizaje se construye, y la memorización es el primer paso de un proceso de síntesis personal de lo que se ha leído, escuchado, visto, etc.,

que implica creatividad y juicio. Los eventos que se introducen en la memoria a corto plazo se transforman en pensamientos memorizados y pasan a la memoria a largo plazo una vez transcurrido un cierto tiempo. Estos dos tipos de memoria se basan en procesos biológicos diferentes y se ha puesto de manifiesto que el paso a la memoria a largo plazo no sólo cambia la concentración de neurotransmisores para reforzar ciertas conexiones, sino que también aparecen nuevas sinapsis, implicando cambios tanto anatómicos como bioquímicos. Así, además de que debe activarse un gen para producir las proteínas correspondientes y responder al proceso de aprendizaje, la consolidación de la memoria a largo plazo implica una relativamente larga cadena de interacciones entre el hipocampo y el córtex cerebral, en cuya base está la atención.

Por otro lado, el acceso a la información que proporciona una página web conlleva una considerable carga cognitiva [7]. Cuando se accede a información en hipertexto aparecen opciones que pueden visitarse o no. El orden en el que se van visitando debe decidirse a medida que se va accediendo a la información según nos resulte más o menos interesante. El acceso a la información en este caso necesita un nivel de atención considerable, y nuestra memoria de trabajo estará expuesta a un número mayor de estímulos que si esa información nos llegara de forma lineal, como ocurre cuando accedemos a ella a través de un libro, o se nos proporciona estructurada de forma adecuada en una clase magistral.

Por tanto, seguimos pensando que las clases magistrales son importantes para el desarrollo de la docencia y recomendamos la toma de apuntes y el uso de libros de texto. Consideramos que la clase magistral tiene efectos bastante positivos si se introducen elementos que promuevan la participación del estudiante y la resolución de ejercicios y problemas con los que se va ilustrando la utilidad de los conceptos explicados. Los problemas de las clases magistrales surgen con la masificación de los grupos y la falta de relación entre explicaciones de teoría y clases de problemas que deberían estar completamente imbricadas.

3 Docencia de Arquitectura de computadores en el confinamiento por la COVID-19

La pandemia ha afectado a la asignatura en dos aspectos importantes, por una parte la impartición adecuada de las clases magistrales, y por otra la realización de pruebas de evaluación continua no presenciales. En cuanto a las clases magistrales, la existencia de plataformas de videoconferencia ha supuesto una ayuda considerable. Las clases se han impartido a través de la herramienta *Meet* de Google GSuite, que permite la grabación de las sesiones de clase, y su difusión a través de la herramienta *Drive*. La posibilidad de grabar las clases facilita al estudiante la asimilación y organización posterior de la información que se proporciona en clase. En principio, el estudiante recibiría la misma información del contenido de clase que le llegaría en una clase presencial y puede plantear dudas, intervenir en clase e interactuar con sus compañeros de clase a través de la herramienta de videoconferencia. De esta forma, una vez identificada la herramienta de videoconferencia a utilizar y tras

familiarizarnos con su uso, se podría continuar explicando los contenidos de la teoría, como así ocurrió tras la primera semana de confinamiento. En esta rápida puesta en marcha de las clases no presenciales, la disponibilidad de plataformas docentes y herramientas (en nuestro caso Google *GSuite* UGR y SWAD [6]) ha sido importante, pero también han sido decisivas la colaboración entre los profesores de cada asignatura para transmitir experiencias de uso de este tipo de herramientas, y la formación recibida de entidades de la propia Universidad.

No obstante, las clases no presenciales plantean problemas importantes que deben tenerse en cuenta a la hora de mejorarlas. Por una parte están las posibles limitaciones de ancho de banda y de medios de que disponen los estudiantes, y las condiciones del entorno doméstico en el que se sigan las clases a distancia. Por otro lado, y quizá de más relevancia, se tienen los problemas relacionados con la comunicación limitada que existe entre estudiantes y profesor, y entre los propios estudiantes. Así, aunque es posible en principio tener imágenes de los estudiantes, en la práctica no se suelen utilizar imágenes de los participantes en las sesiones de videoconferencia para evitar posibles problemas derivados del ancho de banda que se requeriría en grupos de teoría con muchos estudiantes. Igual que sucede en las clases presenciales muy numerosas, la participación de los estudiantes en las clases no suele ser muy frecuente y debe interpelarse con demasiada frecuencia a los estudiantes para que pregunten. Algo que, ciertamente, resulta más complicado en una videoconferencia. La realimentación que el profesor recibe acerca del interés de sus estudiantes por lo que está explicando y sobre el grado de comprensión que está alcanzando su explicación, se ve reducida considerablemente con respecto a lo que sucede en las clases presenciales. Además, es bastante más complicado mantener la atención de los estudiantes, que siguen la clase a través de sus ordenadores, que les permiten navegar en Internet o simplemente ejecutar otras aplicaciones. También es difícil introducir cambios en el contenido de la clase, y llevar a cabo desarrollos sobre la marcha, ante los “silencios” de la clase cuando lo que se está explicando no se está entendiendo. Evidentemente, disponer de dispositivos con funciones de pizarra electrónica permite añadir nueva información a la que se recoge en las presentaciones que se tienen preparadas, pero determinar el momento en que debe hacerse requiere cierta preparación adicional a la que implica una clase presencial. Para concluir esta enumeración de las consecuencias de las clases no presenciales, no se pueden olvidar las limitaciones que existen para la comunicación entre los propios estudiantes, que suelen encontrar en esa interacción un apoyo esencial para resolver dudas que se les plantean al estudiar, y constituye la base de la importante dimensión social que tiene toda carrera universitaria. Consideramos que es esencial facilitar el contacto entre los compañeros de clase a través de las correspondientes herramientas de video-llamada y de trabajo cooperativo. Una forma de facilitar el intercambio estrecho de experiencias entre los integrantes de los grupos de clase es la configuración de grupos con pocos estudiantes, que “coincidan” frecuentemente en las clases no presenciales de sus asignaturas.

Incluso siendo muy relevantes los problemas que plantean las clases no presenciales, la parte más complicada en la adaptación de la docencia al escenario de confinamiento resultante de la COVID19 ha resultado ser la implementación de las

pruebas de evaluación. Las plataformas docentes que hemos podido utilizar (en nuestro caso SWAD) incluyen herramientas que permiten gestionar bases de datos de preguntas y automatizar la realización y corrección de pruebas, y han resultado de gran ayuda. No obstante, la principal dificultad surge al tener que garantizar la autoría del examen: que el examen ha sido hecho por el estudiante correspondiente, en las condiciones en que debía hacerse respecto al uso de material de apoyo y, por supuesto, la ausencia de copias. Esto nos ha llevado a considerar la necesidad de tener en cuenta ciertas cuestiones éticas en la formación de nuestros estudiantes, tal y como se describe en la Sección 4.

4 Ética y evaluación de aprendizajes durante la COVID-19

Cuando las clases empezaron a impartirse de manera no presencial, una de las primeras inquietudes que afloraron entre los estudiantes fue la relativa a los exámenes, sobre todo una vez se constató que se podría continuar impartiendo la asignatura a través de videoconferencias, y que se podrían seguir los contenidos a través del material disponible en transparencias, libros de texto de teoría y de problemas resueltos [9,10]. Una parte considerable de la calificación de la asignatura proviene de las pruebas que se realizaban presencialmente tras cada tema, y en el momento en que se decretó el confinamiento solo se había realizado la correspondiente al primer tema. Los estudiantes planteaban frecuentemente si se continuarían realizando dichas pruebas para los restantes temas. Las pruebas se llevaban a cabo a través de la herramienta de test de la plataforma SWAD que, si bien permitía una elaboración eficiente de pruebas a partir de la selección aleatoria de preguntas contenidas en una base de datos que se podía ir ampliando, y facilitaba la corrección y el análisis de las pruebas, no incorporaba recursos muy sofisticados para su aplicación no presencial. Estaba pensada más como herramienta para generar pruebas de auto-evaluación y cuando se aplicaba para la evaluación continua se hacía como un examen presencial, con la supervisión del profesor. También hay que tener en cuenta que el establecimiento de las condiciones en las que se podría llevar a cabo una evaluación no presencial generó en su momento cierta controversia, y de hecho las resoluciones correspondientes del rectorado de nuestra Universidad llegaron bastante después de que se comenzasen a impartir las clases no presenciales, justo cuando ya era inminente el comienzo del periodo de exámenes. Así, por ejemplo, los estudiantes mostraban un amplio rechazo a las de herramientas de *proctoring* [11,12], de las que por otra parte no se disponía, e incluso al uso de cámaras que les estuviesen grabando durante el examen.

En cualquier caso, a pesar de las limitaciones para evitar copias que tenía la herramienta de exámenes de que se disponía, y aunque, como se ha dicho, ni se disponía de herramientas de *proctoring*, ni se podían utilizar, se decidió continuar la aplicación de pruebas de evaluación continua, sencillamente apelando a la responsabilidad y honradez de los estudiantes. Teniendo en cuenta las características de las herramientas que se utilizarían para elaborar y aplicar las pruebas no presenciales estaba clara la posibilidad de copiar en las correspondientes pruebas de evaluación continua. Sin embargo dada la situación especial (de crisis) en la que nos

encontrábamos, se pensó que habría una respuesta clara y mayoritaria hacia la honradez ante el dilema moral que se planteaba: mantener un comportamiento altruista y no copiar pensando en el beneficio común de poder disponer de calificaciones de evaluación continua, o mostrar un comportamiento egoísta y copiar, a pesar de que se pudiese anular la evaluación continua. En cualquier caso, resultaría ilustrativo comprobar el comportamiento ético de nuestros estudiantes aunque estuviésemos en los momentos críticos de una pandemia.

Finalmente, la media de las calificaciones obtenidas por los estudiantes en las sucesivas pruebas de evaluación continua de los tres temas que faltaban creció considerablemente. Si bien hubo estudiantes con calificaciones que se mantuvieron dentro de una línea similar a la que correspondía con su nota en la primera prueba, manteniendo un comportamiento altruista como correspondía, también hubo un número significativo de estudiantes que alcanzaron calificaciones próximas a la máxima en cada una de las pruebas de evaluación continua no presenciales que faltaba realizar.

Por un lado, estas tendencias observadas en los resultados de las pruebas de evaluación continua, nos llevaron a implementar ciertos cambios en los exámenes de teoría y prácticas de todo el contenido de la asignatura (los denominados exámenes finales de la asignatura), dado que también tendrían que hacerse de forma no presencial. Se tuvo en cuenta para ello, el documento [13] del Ministerio de Universidades, donde incluso ya se indica que, “en el caso de los exámenes de tipo test o respuesta corta no existe una tecnología que pueda garantizar completamente la autoría y evite la realización de actos fraudulentos durante la realización de las pruebas”, pero existen recomendaciones para reducir su impacto. El examen se dividió en partes, presentando las preguntas de cada parte de forma sucesiva, sin posibilidad de retroceder a partes anteriores y ajustando el tiempo de respuesta. La detección de copias en el examen final hizo que, en el examen de la convocatoria extraordinaria, fuese obligatorio para el estudiante mantener la cámara activa durante todo el examen, aunque no se grababa nada.

Con frecuencia, los estudiantes han planteado su descontento con los procedimientos de examen que, según ellos, resultan de una excesiva preocupación de los profesores por evitar copias en los exámenes. Es lógica la preocupación por las copias, puesto que los profesores debemos garantizar que las calificaciones sean justas y reflejen el aprendizaje alcanzado por cada estudiante en las competencias correspondientes a la asignatura. Si no se hubieran producido copias, o los propios estudiantes las hubieran denunciado, los profesores no hubiéramos tenido que usar en los exámenes estrategias que, por otro lado, hacen más compleja su corrección. En cualquier caso, la solución al problema de las copias se debería buscar en la motivación de nuestros estudiantes, más que en una especie de “carrera armamentística” entre técnicas de copia y estrategias para evitarlas y detectarlas. Se podría aprovechar esta situación de crisis motivada por la pandemia, para que los estudiantes cooperen y contribuyan al bien común de la calidad docente, a pesar de que un comportamiento egoísta les pueda parecer que proporciona beneficios individuales más inmediatos. No obstante, algunos trabajos [14] sobre la generación de comportamientos cooperativos ante

dilemas como el que plantean las copias en los exámenes, ponen de manifiesto que hay más probabilidad de cooperación voluntaria en los grupos pequeños que en los grandes, y no suele poderse mantener en grupos que superan un tamaño crítico.

Como consecuencia de todo esto, también hemos llegado a la conclusión de que, a través de la docencia que impartimos, conviene dar una mayor relevancia a la formación ética de nuestros estudiantes. Un ingeniero debería mostrar siempre un comportamiento ético intachable puesto que los resultados de su actividad profesional tendrán incidencia social. Los ingenieros que formamos deben ser objetivos y veraces, formarse para ser competentes en la toma de decisiones dentro de su profesión, y ser honrados en la propuesta de soluciones eficaces y seguras en una sociedad orientada hacia un desarrollo sostenible y justo.

5 Conclusiones y propuestas para el futuro

En este artículo se analizan algunos de los problemas que ha planteado la docencia no presencial de la asignatura Arquitectura de Computadores, de segundo del grado en Ingeniería Informática de la Universidad de Granada, y se describen algunas propuestas para darles respuesta.

Una de los aspectos que se ha manifestado como fundamental para mantener una calidad docente adecuada, incluso en situaciones tan difíciles como la vivida durante el confinamiento por la COVID19, es el número de estudiantes que constituyen los grupos, tanto de teoría como de prácticas. Grupos muy numerosos no solo dificultan la docencia en circunstancias normales (hacen que se deba estudiar la escalabilidad de cualquier estrategia docente que se quiera implementar) sino que afectan negativamente a la resiliencia y adaptabilidad ante imprevistos como el que hemos tenido, al tiempo que hacen menos probable que surjan comportamientos colaborativos entre los estudiantes, muy útiles ante problemas como, por ejemplo, los derivados de la necesidad de realizar exámenes no presenciales.

Si bien la reforma de Bolonia planteaba la formación continua, en grupos muy numerosos esa recomendación se ha implementado más como la aplicación de pruebas, frecuentemente de tipo test, y ejercicios a resolver por los estudiantes, que se ven sometidos a un número excesivo de exámenes correspondientes a las asignaturas que están cursando cada cuatrimestre. En grupos pequeños, el profesor puede llegar a conocer la evolución de los estudiantes a lo largo del cuatrimestre que suele durar una asignatura, y es viable la realización de seminarios a través de los que se pueden evaluar las competencias de los estudiantes sin tantos exámenes. Se pone así de manifiesto la relación entre la inversión económica realizada y la calidad de la formación.

En general, son esenciales el trabajo en equipo y colaboración, no solo entre estudiantes, y entre profesores, sino también entre estudiantes y profesores. Precisamente en estos momentos en los que el contacto directo es tan difícil, por no decir imposible y/o desaconsejable, es evidente la necesidad de herramientas de

enseñanza no presencial adecuadas, en particular las que permitan realizar con garantías la evaluación no presencial.

6 Agradecimientos

Muchas gracias a nuestros compañeros Francisco Barranco, Maribel García Arenas, Juan José Escobar, Jesús González Peñalver, Niceto Luque, Christian Morillas, Gustavo Romero, y Jorge Sánchez por compartir su trabajo en la docencia de Arquitectura de Computadores en el segundo cuatrimestre del Curso 2019-2020. También agradecemos su apoyo a Miguel Damas, Director del Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores, y a Antonio Cañas su herramienta SWAD. Se ha recibido financiación del proyecto PGC2018-098813-B-C31 (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y fondos FEDER).

7 Referencias

1. Ortega, J.; Anguita, M.: "Arquitectura de Computadores en seis créditos ECTS". Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores, No.2, pp.13-25, 2012.
2. Ortega, J.; Anguita, M.; González, Jesús; Damas, M.: "Reflexiones tras los primeros cursos de la asignatura Arquitectura de Computadores". Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores, No.6, pp.5-17, 2019.
3. Ortega, J.; Anguita, M.: "Relatos, Mapas Conceptuales y Arquitectura de Computadores". Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores, No.4, pp.89-102, 2014.
4. Ortega, J.; Anguita, M.; Prieto, A.; Cañas, A.; Damas, M.; Diaz, A.F.; Fernández, J.; González, J.: "La hoja de ruta de la ingeniería de computadores al final de la ley de Moore y el escalado de Dennard". Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores, No.9, pp.5-27, 2019.
5. Guía docente de Arquitectura de Computadores (grado en Ingeniería Informática de la UGR). https://atc.ugr.es/sites/departamentos_files/departamentos_atc/public/inline-files/GuiasDocentes_20_21/gii_arquitectura_computadores_2020-2021.pdf.
6. SWAD (Sistema Web de Apoyo a la Docencia), swad.ugr.es, 2020.
7. Machado Trujillo, C.: "Aprendizaje con nuevas tecnologías: una mirada desde la neurociencia y la psicología cognitiva". III Jornadas de la Innovación Educativas en el ámbito de las TIC, pp.235-242. Las Palmas de Gran Canaria, 17-18 de Noviembre, 2016.
8. Kandel, E.R.: "En busca de la memoria: una nueva ciencia de la mente". Katz Editores, 2007.
9. Ortega, J.; Anguita, M.; Prieto, A.: "Arquitectura de Computadores". Ed. Thomson-Paraninfo, 2005.
10. Anguita, M.; Ortega, J.: "Fundamentos y Problemas de Arquitectura de Computadores". Editorial Técnica Avicam, 2016
11. Cramp, J.; Medlin, J.F.; Lake, P.; Sharp, C.: "Lessons learned from implementing remotely invigilated online exams, Journal of University Teaching & Learning Practice, 16(1), 2019.
12. Alessio, H. M.; Malay, N.; Maurer, K.; Bailer, A. J.; Rubin, B.: "Examining the effect of proctoring on online test scores", Online Learning 21 (1), 2017.
13. González, M.; Marco, E.; Medina, T.: "Informe de iniciativas y herramientas de evaluación online universitaria en el contexto del Covid-19". Gabinete del Ministro. Ministerio de Universidades, 2000.
14. Kollock, P.: "Social Dilemmas: The Anatomy of Cooperation". Annual Review of Sociology, Vol. 24, pp. 183-214. <https://doi.org/10.1146/annurev.soc.24.1.183>, 1998.

El ecosistema de aprendizaje del estudiante universitario en la post-pandemia. Metodologías y herramientas

Francisco Charte, Antonio J. Rivera, Javier Medina y Macarena Espinilla

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

Resumen La transición de una modalidad de enseñanza tradicional y presencial a una de tipo remoto, provocada por el confinamiento a raíz del coronavirus SARS-CoV-2, ha implicado cambios que han debido realizarse de manera acelerada y que afectan no solo al desarrollo de las clases, sino también a las actividades prácticas en laboratorio, de comunicación y de evaluación de las competencias de los estudiantes. En este trabajo exponemos cómo hemos afrontado dicha transición en asignaturas del área *Arquitectura y tecnología de computadores* en la Universidad de Jaén, así como la planificación que hemos llevado a cabo para el próximo curso 2020/2021 ante el nivel de incertidumbre sobre cómo se desarrollará.

Palabras clave: metodologías de aprendizaje, aprendizaje activo, aprendizaje basado en proyectos, modelos de evaluación.

Abstract The transition from a traditional and face-to-face teaching modality to a remote type, caused by the confinement due to the SARS-CoV-2 coronavirus, has implied changes that have had to be made in an accelerated way and that affect not only the development of the classes, but also the practical activities in the laboratory, communication and evaluation of the students' competences. In this paper we explain how we have faced this transition in subjects of the area *Computer architecture and technology* at the University of Jaén, as well as the planning we have carried out for the next academic year 2020/2021 in view of the level of uncertainty about how it will develop.

Keywords: learning methodologies, active learning, project-based learning, assessment approaches

You cannot get educated by this self-propagating system in which people study to pass exams, and teach others to pass exams, but nobody knows anything. You learn something by doing it yourself, by asking questions, by thinking, and by experimenting. Richard Feynman.

1. Introducción

La situación generada por la expansión del coronavirus SARS-CoV-2 a nivel mundial, especialmente en aquellos países en los que ha explotado con mayor virulencia

como es el caso de España y, en consecuencia, ha implicado medidas más estrictas de confinamiento, ha tenido un gran impacto en el desarrollo de la actividad universitaria. El personal docente es consciente de los obstáculos que ha encontrado para llevar a cabo la actividad académica mediante tecnologías que, en general y hasta ahora, no eran las que empleaba habitualmente para impartir la docencia. A esto se han sumado otros aspectos también destacables, como el entorno en que ha tenido que desarrollarse la actividad: el doméstico, no siempre adecuado para ella, o los conocidos problemas de conciliación, que quedan fuera del ámbito de estudio de este trabajo.

Al otro lado de la actividad docente se encuentra el estudiante, cuyas circunstancias se han visto igualmente afectadas por la citada situación. El ecosistema de trabajo habitual, que se desarrollaba entre aulas: laboratorios, salas de estudio y la comunicación directa con profesores y compañeros, se ha trasladado a un entorno con muchos menos recursos físicos (equipamiento, bibliografía, espacios de trabajo y estudio) y que plantea nuevos desafíos para mantener un contacto fluido y cercano con el resto de protagonistas determinantes en el proceso de aprendizaje personal.

El cambio acelerado y no planificado, de un escenario normal a uno de confinamiento, se produjo a mitad del segundo cuatrimestre del curso académico 2019/2020 y exigió una búsqueda de rápidas soluciones y adaptación que, permitiendo continuar con la actividad lectiva, presentaron no pocos obstáculos. La alternativa más empleada, hasta donde sabemos por nuestro entorno, ha sido la transición de una enseñanza presencial a una de tipo remoto (que no virtual) manteniendo el esquema general de funcionamiento: clases magistrales de forma síncrona, realización y entrega de prácticas mediante los mecanismos habituales y evaluación tradicional a través de examen, cambiando la modalidad escrita por la ofrecida por el LMS (*Learning Management System*) correspondiente.

Finalizado el curso, nos enfrentamos a la necesidad de llevar a cabo una planificación para el curso 2020/2021, con un alto nivel de incertidumbre. En general, las universidades han planteado diferentes escenarios potenciales: i) el de la normalidad absoluta, que todos deseamos pero a priori parece poco probable; ii) el de la denominada *nueva normalidad*, que conlleva una reducción en la tasa de ocupación de aulas y laboratorios conjuntamente con medidas de distanciamiento y de tipo sanitario (desinfección de instalaciones, uso de mascarillas, etc.), y finalmente, iii) el escenario de un nuevo confinamiento general si la situación se agrava. En marzo de 2020 no existía ningún tipo de previsión, a nivel estatal, autonómico o de centros educativos, sobre cómo debería afrontarse una situación inesperada como la que se generó en aquel momento. Ahora, no obstante, la experiencia adquirida debe servirnos para enfrentar el próximo curso de una forma más previsible.

Con este artículo pretendemos transmitir a la comunidad educativa nuestra experiencia en la adaptación de asignaturas con docencia por parte del área de Arquitectura y tecnología de computadores de la Universidad de Jaén, como son *Programación y administración de redes* y *Sistemas empotrados y ubicuos*, tanto en la primera fase de urgencia como en previsión de los escenarios del próximo curso, haciendo especial énfasis en las herramientas y metodologías que determinan el ecosistema de aprendizaje en el que ha de vivir el estudiante.

2. Obstáculos en el proceso de aprendizaje clásico

La **metodología de enseñanza** tradicional o clásica, todavía la más empleada en términos generales [1], tiene su pilar fundamental en la clase magistral. El centro es el profesor que, mediante la vía oral y apoyándose en algunos recursos, esencialmente la pizarra y/o diapositivas, transmite su propio conocimiento a unos oyentes, los estudiantes, que salvo excepciones adoptan el papel pasivo del proceso. En un contexto en el que la fuente del conocimiento, la materia que se estudia, ya no es exclusiva del docente como ocurría en el pasado sino que está a disposición inmediata a través de Internet, el enfoque previo no tiene necesariamente que ser la mejor alternativa.

Por ello, la comunicación entre estudiante y profesor juega un papel fundamental, siendo más o menos fluida según los casos, así como la interacción entre los propios estudiantes, tanto durante como después de la clase. La primera permite al estudiante resolver aspectos que le planteen dudas, en primer término, y al profesor presentar a los estudiantes cuestiones a analizar y problemas a resolver en relación al tema de estudio. La comunicación entre estudiantes, que se produce tanto en la clase como fuera de esta a lo largo de todo el curso, puede llegar a ser incluso más importante. El apoyo entre pares es en muchas ocasiones el método preferente para solventar dudas, más empleado que las tutorías con el profesorado.

El cambio brusco a una enseñanza remota ha levantado obstáculos importantes para el normal desenvolvimiento de este tipo de clases, centradas en la explicación facilitada por el profesor. En principio identificamos los siguientes obstáculos:

1. Dificultades para seguir las clases en el horario establecido al no contar el estudiante con los recursos adecuados: ordenador, servicio de acceso a Internet, etc. En muchas ocasiones esos recursos son compartidos por varios miembros de la entidad familiar, de forma que si un progenitor los tiene que usar para desarrollar su actividad laboral no pueden estar a disposición del estudiante.
2. Fácil desconexión de la atención del estudiante durante la clase, ya que mientras escucha, al estar delante de un ordenador, puede estar realizando otras tareas que actúan como distracción.
3. Falta de comunicación fluida con el profesor impuesta por los medios empleados. En general los estudiantes evitan usar el micrófono para plantear sus preguntas verbalmente, empleando en su lugar una ventana de mensajes (*chat*) que fuerza al profesor a estar vigilando este recurso y reaccionando a él al tiempo que se desarrolla la clase.
4. Interrupción de la comunicación habitual con los compañeros que, como se apuntaba antes, constituye posiblemente el principal pilar de apoyo para muchos estudiantes. La interacción personal puede, hasta cierto punto, ser complementada por la comunicación digital, siempre con las limitaciones que impone el primero de los obstáculos mencionados.

Uno de los problemas fundamentales en el cambio a remoto es la equidad en cuanto a recursos y entorno de trabajo de los estudiantes, aspectos fuertemente dependientes del contexto familiar [2] como se indica en el primer obstáculo. En general, los estudiantes de titulaciones técnicas y, en particular, relacionadas con la informática, disponen de un ordenador y de conexión a Internet, así como de teléfono móvil, pero el entorno familiar

puede imponer limitaciones de espacios, horarios de uso del ordenador (compartido), etc. La denominada brecha digital, que se incrementa y se une a la brecha social en esta situación [3], ha de ser contemplada para no dejar a ningún estudiante atrás.

Frente a esta metodología de enseñanza tradicional, y los obstáculos que plantea la situación actual, es preciso definir una **metodología del aprendizaje**, diseñando un entorno virtual centrado en el estudiante [4], con ideas creativas que le resulten valiosas para desarrollar su actividad. Hay que partir de que aprendizaje en sí mismo, como proceso de adquisición de conocimientos por parte de las personas, no es un lugar, no es un aula, sino que es un camino que ha de recorrerse y para el que se necesita la guía adecuada. El docente es el que ha de liderar dicho proceso, proveyendo al estudiante de los recursos, herramientas de trabajo, mecanismos de seguimiento y mejora, etc. El uso de ideas creativas que mejoren el ecosistema de aprendizaje del estudiante, en esto consiste la innovación docente, redundará asimismo en una mejora de los resultados académicos, no tan dependientes de la presencialidad en clase.

3. Adaptación de las metodologías

La necesaria adaptación de la metodología clásica de la enseñanza a una metodología del aprendizaje, fundamentalmente aprovechando el universo de posibilidades que ofrece el mundo digital, es algo que ya estaba experimentándose desde hace tiempo [5]. La situación de no presencialidad lo que ha hecho, en cierta manera, es acelerar ese cambio y, sobre todo, nos ha permitido conocer cuáles son las necesidades y los problemas existentes para poder completar dicha adaptación de forma satisfactoria.

Para comenzar, hemos de tomar en consideración que los medios digitales no sustituyen por completo a las actividades presenciales, sino que las complementan facilitando aspectos como el acceso a los recursos (biblioteca digital, herramientas virtuales, etc.), la comunicación no síncrona (a través de foros, correo electrónico o redes sociales), el trabajo colaborativo entre los estudiantes, la realización, entrega y evaluación de trabajos, etc. En caso necesario el mundo de lo digital, con las herramientas apropiadas, puede llegar a convertirse en el núcleo del proceso de aprendizaje si las circunstancias lo requiriesen.

También es preciso observar que el simple cambio de la presencialidad en clase por una presencialidad remota, a través de un sistema de videoconferencia, de manera síncrona y empleando los mismos métodos que se usarían en clase, no aporta innovación alguna respecto a la metodología tradicional. La verdadera transición consiste en que el docente pase de ser solo un instructor a instituirse en el interlocutor cualificado [6] para llevar a cabo el proceso de aprendizaje de manera satisfactoria, proveyendo al estudiante los recursos y métodos apropiados para que este construya un ecosistema de aprendizaje lo más óptimo posible y adecuado a sus necesidades y, lógicamente, desempeñando el papel de autoridad competente, con los conocimientos necesarios, en aspectos como la evaluación de las competencias adquiridas por el estudiante.

3.1. Por qué es preciso cambiar las metodologías

El tiempo compartido entre profesor y estudiantes a lo largo de un cuatrimestre por asignatura, no contabilizando el dedicado a realización de prácticas en laboratorios, es

muy limitado. En general se reduce a 30 horas repartidas a lo largo de 15 semanas, típicamente con dos clases de una hora a la semana, a las que se sumaría el tiempo de atención individual en tutorías que suele ser mucho menor. ¿Tiene sentido dedicar ese valioso tiempo, al completo, a mostrar diapositivas de una presentación explicando conceptos que el estudiante podría leer por sí mismo?

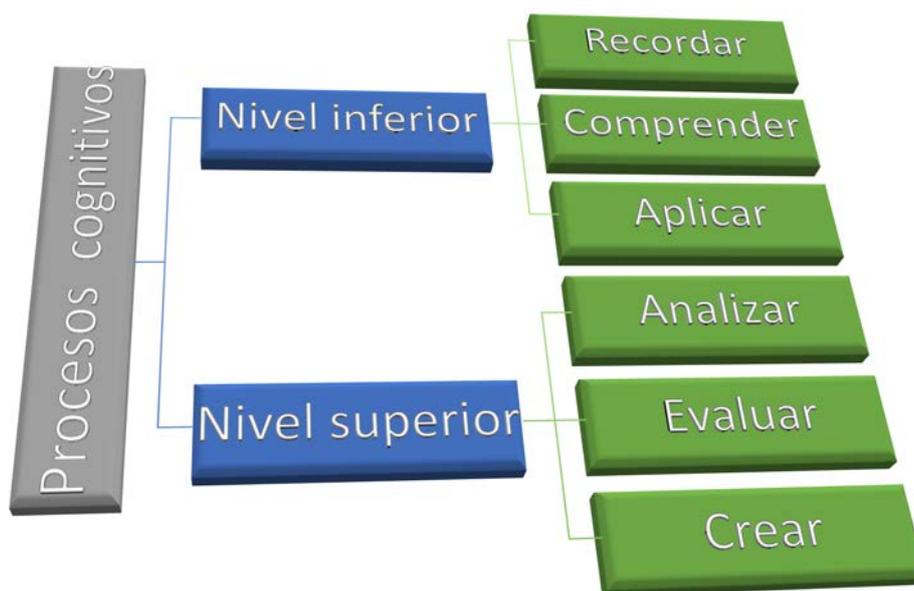


Figura 1. Interpretación actualizada por Anderson de la taxonomía de Bloom.

Atender pasivamente a una explicación, limitándose a ver y escuchar con el único objetivo de adquirir conceptos y recordarlos, es una actividad de bajo nivel cognitivo atendiendo a la taxonomía de Bloom actualizada por Anderson [7] (véase la Figura 1). El proceso de más bajo nivel consiste únicamente en recordar datos y hechos, sin siquiera llegar a comprenderlos, tarea que recae en el siguiente nivel. Ambos niveles implican acciones que el estudiante puede llevar a cabo por sí mismo sin necesidad de mucha ayuda, como son el repaso repetitivo de datos a recordar o la comprensión básica de textos con definiciones. En cuanto al tercer proceso de los considerados de bajo nivel, consistente en aplicar los conocimientos adquiridos en los dos previos para resolver problemas, es el que suele llevarse a cabo durante las sesiones prácticas en laboratorio.

Dejar las tareas con menor nivel cognitivo para el trabajo autónomo del estudiante, en lugar de emplear en ellas el poco y valioso tiempo que se comparte con el profesor, permite dedicar ese tiempo a las tareas de más alto nivel: analizar, evaluar y crear.

Estos procesos cognitivos implican el uso de metodologías activas del aprendizaje [8], tales como el aprendizaje basado en proyectos [9] y la resolución de problemas [10], la evaluación y el debate de temas, invirtiendo el enfoque de manera que los estudiantes analizan el tema y posteriormente se evalúa y discute en clase, en lugar de ser explicado en el tiempo de clase y posteriormente discutido entre los estudiantes. La creatividad, a través de la investigación de la materia de estudio, recopilación y síntesis de ideas, etc., es también una parte valiosa en el aprendizaje, exigiendo el más alto nivel cognitivo.

3.2. Qué metodologías podemos emplear

En la adaptación del proceso de enseñanza/aprendizaje deberíamos siempre conducirnos por la evidencia, por aquello que está constatado que funciona en los estudios publicados en la literatura especializada. El mayor problema que hemos de afrontar es la inmensa cantidad de estudios y propuestas existentes, resumidos a su vez en cientos de meta-estudios. Afortunadamente, Hattie [11] resume en su libro *Visible Learning*¹ quince años de trabajos, un total de 913 meta-análisis que recogen más de 60 000 estudios (en la edición de 2012), y nos ofrece una valiosa guía sobre qué actividades tienen un efecto positivo/negativo en el proceso de aprendizaje, considerando en torno a 200 aspectos diferentes y su impacto de acuerdo a un barómetro de influencia. Un estudio de la aplicación de esas técnicas a la educación superior es abordado por el propio Hattie en [12].

De entre esos aspectos, una buena parte de los que tienen mayor influencia positiva en el proceso de aprendizaje por parte del estudiante están relacionados con metodologías bien conocidas, como las de aprendizaje activo [8] o el aprendizaje basado en proyectos [9]. En el top 10% de actividades encontramos temas como las herramientas de autoevaluación [13], los debates de temas en clase, tomar en consideración la realimentación por parte del estudiante en el estudio de la materia, que el docente defina claramente el rendimiento esperado por parte de los estudiantes, el uso del aprendizaje invertido [14] o el uso de programas creativos [15].

Llama la atención que el aspecto que más parece influir en general sea precisamente el conocimiento por parte de los estudiantes de la estimación que el profesorado hace sobre las metas y competencias que deben alcanzarse, así como la evaluación [16] continuada, tanto autónoma como supervisada, a lo largo del curso. La intensificación de la evaluación, de forma que los estudiantes saben en todo momento dónde se encuentran en su proceso de aprendizaje y los profesores conocen la situación de cada estudiante, conlleva aspectos positivos para ambas partes. Los estudiantes se sienten estimulados al conocer su evolución gradual en la materia, mientras que al docente le permite detectar estudiantes con problemas y afrontar así el reto de una enseñanza más individualizada aunque esto no siempre es posible.

Es preciso hacer notar que ninguno de los aspectos citados hasta ahora son exclusivos para una enseñanza a través de medios digitales, sino que son perfectamente aplicables a la clase presencial. Precisamente el uso de este tipo de metodologías, que incluyen trabajos de autoevaluación, desarrollo de proyectos, discusión de temas y un

¹ <https://visible-learning.org/>

enfoque creativo [15] en la realización de trabajos, son las menos afectadas por el cambio de presencial a remoto. Son metodologías que, en general, tienden a incrementar la autonomía del estudiante que, como se apuntaba anteriormente, realizar las tareas de más bajo nivel cognitivo sin necesidad de supervisión, mientras que en las horas de clase compartidas entre profesor y estudiante, ya sea en clase o por videoconferencia, se abordan de manera supervisada las de más alto nivel.

3.3. El aprendizaje activo a lo largo del curso

Se ha demostrado [8,17] que la adquisición de conocimientos por parte del estudiante no mejora mediante el estudio reiterado de los contenidos, independientemente de que estos se faciliten en formato escrito o audiovisual. Asimismo, la concentración del estudio en un periodo corto de tiempo, en lugar de realizarse espaciadamente a lo largo del cuatrimestre, también resulta menos eficiente. Sin embargo, esta es la técnica empleada usualmente por buena parte de los estudiantes: la lectura repetitiva de diapositivas y/o apuntes de la asignatura cuyo examen abordarán en breve.

En la actualidad, muchos estudiantes presentan una actitud relativamente pasiva respecto al aprendizaje durante el periodo lectivo, entendiendo como tal el previo a la realización de pruebas de evaluación. A partir de la observación durante las clases teóricas y prácticas, así como a través del análisis de accesos a los recursos en línea (plataforma de docencia, vídeos, etc.) y de la frecuencia de uso de las tutorías, se constata que el estudio activo de la materia no se inicia hasta pocos días antes de la realización de pruebas de evaluación: exámenes, presentación de trabajos, etc. Antes, durante el cuatrimestre, los estudiantes son, en general, oyentes pasivos, siendo reducida la participación en clase, toma de apuntes, asistencia a tutorías, etc. Sin embargo, el cambio de este rol pasivo en la universidad puede ser motivado hacia uno activo introduciendo nuevas metodologías docentes [18,19].

Como conductores del proceso de aprendizaje, el objetivo de los profesores es buscar vías para incrementar la implicación de los estudiantes en dicho proceso, mejorando tanto los resultados de evaluación como el conjunto de conocimientos adquiridos por los mismos. Es necesario modificar la metodología de estudio citada, extendiendo el periodo en que se lleva a cabo e introduciendo técnicas que induzcan la actividad por parte del estudiante. Es sabido que las técnicas de autoevaluación funcionan generalmente bien junto al aprendizaje autónomo del alumnado [20], por lo que a priori poner recursos de este tipo a disposición de los estudiantes empleando alguna plataforma sería positivo.

Esta realidad fue la que llevó a los autores a iniciar un proyecto de innovación docente, descrito más adelante, con un doble objetivo: facilitar una plataforma centrada en el estudio autónomo y autoevaluación para estimular el aprendizaje activo por parte de los estudiantes, por una parte, y que asimismo sirviese a los profesores para conocer con detalle el uso de los recursos ofrecidos conjuntamente con el rendimiento obtenido a lo largo del tiempo, por otra.

4. Adaptación de urgencia y planificada: nuestra experiencia

El segundo cuatrimestre del curso 2019/2020 se encontraba aproximadamente a mitad de camino cuando el sábado 14 de marzo se activó el estado de alarma (según

R.D. 463/2020, publicado en BOE nº 67 de 14/3/2020) y, en consecuencia, quedaron en suspenso las clases presenciales en todos los niveles educativos, incluyendo el universitario.

En aquél momento los autores tenían en marcha el proyecto de innovación docente descrito en la Sección 4.1, mediante el cual parte de los estudiantes tenían acceso a un conjunto de recursos, vídeos y herramientas de autoevaluación, que abarcaban un conjunto limitado del temario. De manera inmediata, durante ese primer fin de semana y los días posteriores, se puso en conocimiento de los estudiantes las herramientas que se emplearían para continuar el seguimiento de las clases según la programación establecida, inicialmente con una herramienta de videoconferencia y la metodología habitual. Sobre esta, no obstante, fue preciso ir introduciendo adaptaciones con cierta premura, entre las que destacan las siguientes:

- Virtualización de las herramientas empleadas en el laboratorio con el objetivo de permitir la continuación de las actividades prácticas.
- Creación y publicación de vídeo-tutoriales [21] que guiasen a los estudiantes en la transición del trabajo en laboratorio al uso de las herramientas virtualizadas.
- Ampliación de tutorías grupales [22], demandadas por los propios estudiantes, para suplir la falta de comunicación en laboratorio que les permitía elaborar sus prácticas.
- Intensificación de los mecanismos de evaluación continua (participación en clase y resolución de ejercicios) que ya se venían empleando.
- Adaptación de las herramientas de evaluación, tanto teóricas como prácticas, introduciendo cambios en el reparto de pesos con el objetivo de que la potencial² no realización de un examen presencial no impidiese la superación de las asignaturas. En la Sección 4.5 se describen con mayor detalle estas modificaciones y, en particular, una de las actividades introducidas como herramienta de evaluación teórica.
- Incorporación de nuevas herramientas que permitiesen sustituir algunas de las actividades en clase, como la pizarra virtual compartida, gracias a la cual los estudiantes pudieron realizar ejercicios de manera colaborativa y síncrona.

Finalizado el curso, con un nivel de satisfacción que nos atreveríamos a calificar como bueno tanto por parte de los estudiantes como de los profesores teniendo en cuenta las dificultades afrontadas, nos planteamos aprovechar la experiencia adquirida para, de forma más pausada, continuar en la línea iniciada de adaptación de metodologías y herramientas. La meta es que el curso 2020/2021 pueda desarrollarse en completa normalidad indistintamente de que las sesiones conjuntas entre profesorado y estudiantes sean presenciales, en un aula, o bien a través de medios digitales.

En el resto de esta sección detallamos la combinación de metodologías de aprendizaje y herramientas en la que pretendemos apoyarnos durante el nuevo curso para conseguir la mencionada meta. Estas se han resumido esquemáticamente en la Figura 2 agrupándolas en cuatro bloques: estudio de materia teórica, realización de actividades prácticas, herramientas para facilitar la comunicación profesor-estudiante y entre estudiantes y sistemas de evaluación. En las siguientes subsecciones se detalla cada bloque.

² Por aquel entonces se pensaba que el confinamiento solo duraría unas pocas semanas, no hasta finalizar el curso.



Figura 2. Resumen esquemático de las metodologías y herramientas

4.1. Potenciación del aprendizaje activo durante el curso

El aprendizaje activo consiste en ceder cierto nivel de control sobre el proceso al estudiante, incrementando su autonomía y favoreciendo la adquisición de conocimiento a través de la experiencia más que como un oyente pasivo, pasando así de espectador a convertirse en actor principal. A priori es una de las mejores maneras de aprovechar el tiempo de los estudiantes con el docente, que es el elemento esencial, usando la tecnología para potenciar el aprendizaje al permitir trasladar las tareas de bajo nivel cognitivo: estudio y repaso de temas mediante vídeos y otro tipo de documentos conjuntamente con la autoevaluación, al tiempo de trabajo autónomo.

El impacto que la introducción de técnicas de aprendizaje activo tiene en los resultados obtenidos por los estudiantes es un tema ampliamente estudiado, con cientos de publicaciones al respecto que informan tanto en sentido positivo como negativo. En [8] los autores llevan a cabo un meta-análisis de 225 de esos estudios centrándose en áreas STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*). De dichos estudios, la mayor parte indican una reducción en las tasas de suspensos tras la introducción de las mencionadas técnicas, así como una mejora en las calificaciones que se establece en un 6% de promedio. Al centrar los estudios seleccionados en el área de Ciencias de la Computación, que es la que nos interesa, los resultados positivos son prácticamente unánimes.

El sistema de créditos ECTS establece la cantidad de trabajo autónomo que los estudiantes han de desarrollar, siendo este entre 1.5 y 2 veces superior (15-20 horas por ECTS) al que se lleva a cabo de manera supervisada en clases de teoría y prácticas (10 horas por ECTS). Hasta ahora la mayoría de propuestas de aprendizaje activo tienen como contexto la clase o el laboratorio, siendo pocas las que ponen el foco en ese tiempo adicional en el que el estudiante ha de aprender por sí mismo. El mecanismo de aprendizaje autónomo más usual, tal y como se apunta en [17], es la relectura de diapositivas o apuntes, generalmente dedicando muchas horas a esta tarea en un intervalo de tiempo corto (el típico atracón antes de exámenes). Los autores de [17]

realizan un extenso estudio del que se extraen fundamentalmente dos conclusiones: 1) el aprendizaje no mejora con la lectura repetitiva del material, pero sí lo hace mediante la recuperación de datos ya sabidos a través de tests y recursos similares, y 2) los conocimientos adquiridos se ven reforzados cuando hay un espaciado en el tiempo entre el estudio inicial y los posteriores, en contraposición al estudio en masa (muchas horas y mucho contenido) que es el más frecuente.

Los resultados de los dos estudios previos es lo que nos llevó a proponer mecanismos de aprendizaje activo dirigidos al estudio autónomo, pero guiados y coordinados con la materia impartida durante el periodo docente en lugar de para ser usados a la finalización del mismo. De entre las distintas herramientas existentes, las conocidas como *flashcards* [23] han demostrado ser especialmente eficientes. Estas se presentan al estudiante como un juego que estimula la recuperación de los conocimientos que ya ha obtenido, factor que los refuerza según se indica en [17]. La planificación y seguimiento automáticos, a través de una plataforma adecuada, ofrecerá estas *flashcards* en el momento y con la frecuencia adecuados.

El objetivo principal del proyecto de innovación docente que teníamos en marcha cuando afrontamos esta situación de cambio a docencia remota era evaluar empíricamente si era posible mejorar el proceso de aprendizaje, y los resultados finales obtenidos por los estudiantes, mediante la introducción de técnicas de aprendizaje activo. Este objetivo se compondría de los siguientes hitos:

- Diseño y desarrollo de una plataforma web a través de la cual se pondrían a disposición de los estudiantes distintos recursos específicos que demanden una actitud activa: *flashcards*, vídeos con cuestionarios, etc. La plataforma realizará un seguimiento de la interacción de los estudiantes con la misma: recursos que emplean, tiempo dedicado y resultados obtenidos.
- Preparación de los materiales didácticos a incluir en la plataforma por parte de los profesores implicados.
- Puesta en marcha experimental de la plataforma a lo largo de un curso académico, durante el cual una parte de los estudiantes de una asignatura tendrían acceso a la misma. El resto del alumnado servirían como grupo de control o referencia. Esta es la fase en que nos encontrábamos en marzo de 2020.
- Realización de uno o más test no evaluables al conjunto total de estudiantes que, conjuntamente con los resultados de las pruebas evaluables habituales, servirán como índices a analizar.
- Al finalizar el curso académico, análisis de los índices previos y de los datos registrados en la plataforma a fin de determinar si existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos por los estudiantes dependiendo de si han participado o no en la experiencia, así como según el uso que han hecho de los recursos existentes en la plataforma.

Incluir un enfoque lúdico en el proceso de aprendizaje (*gamificación* [24,25]) habitualmente sirve como estímulo para el estudiante, pudiéndose llegar al nivel de competición entre ellos. El uso de las *flashcards* [23] a modo de juego, con una puntuación en función de la velocidad y el acierto en las respuestas a los test de autoevaluación, nos pareció una alternativa interesante.

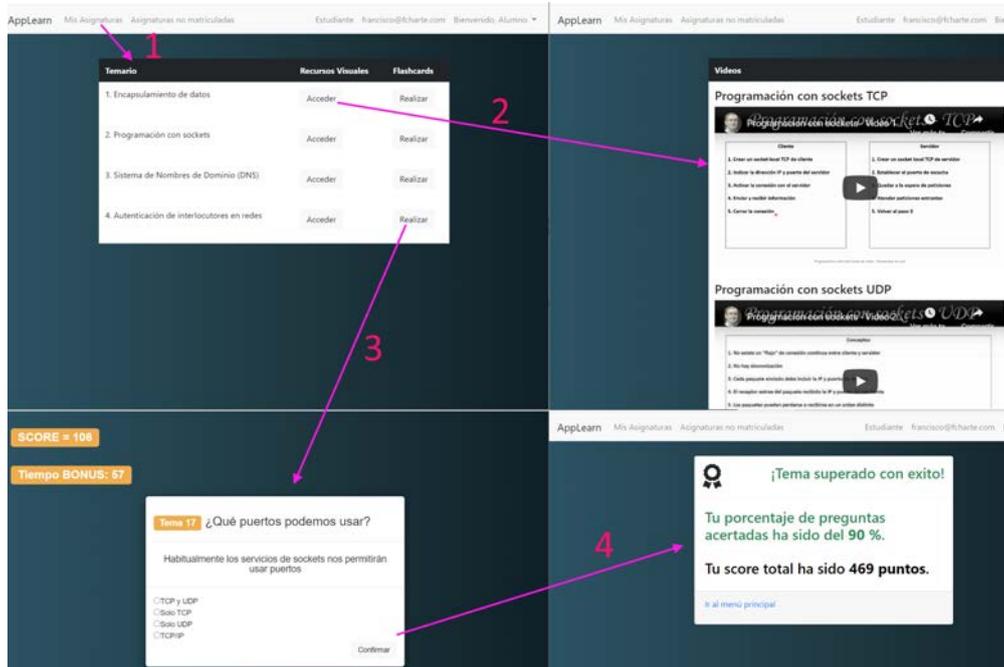


Figura 3. Vistas de la aplicación de aprendizaje activo para el estudiante

Asociado a este proyecto se desarrolló una plataforma específica accesible públicamente (<https://activelearn.ml>) con un doble objetivo: facilitar a los estudiantes los recursos de aprendizaje y herramientas de autoevaluación, por una parte, y permitir a los docentes recolectar toda la información relacionada con el uso de la plataforma, tanto individual como agregada, a fin de poder evaluar su impacto en la evolución de los estudiantes. En la Figura 3 se muestran las vistas principales disponibles para el estudiante, con la secuencia de uso habitual compuesta de los siguientes pasos:

1. Acceso a la lista de asignaturas y selección de aquella con la que quiere trabajar, obteniendo la lista de temas disponibles.
2. Acceso a los recursos disponibles para un tema, principalmente videos en los que el profesorado de la asignatura expone conceptos de la materia.
3. Acceso a la herramienta de autoevaluación mediante *flashcards*. La aplicación cambia a un modo de pantalla completa en la que el estudiante solo ve su puntuación, el *bonus* que tiene por tiempo, las preguntas y respuestas y la confirmación de si ha fallado o acertado a medida que avanza.
4. Rúbrica con los resultados de la autoevaluación indicando el porcentaje de aciertos y también la puntuación o *score* final que permitiría al estudiante comparar sus resultados con los obtenidos por sus compañeros.

Para los docentes implicados, la puesta en marcha de este proyecto ha supuesto las siguientes actividades adicionales:

The screenshot shows the AppLearn interface. On the left, there is a table with columns: Pregunta, Cuerpo, R1, R2, R3, R4, Correcta, and Acciones. The table contains several rows of flashcard data. On the right, there is a panel titled 'Datos de Flashcard seleccionada' which displays the details of a selected flashcard, including the question, body, and response options.

Pregunta	Cuerpo	R1	R2	R3	R4	Correcta	Acciones
Comunicación entre capas del mismo nivel de dos hosts	Cómo se denomina el conjunto de reglas que rigen la comunicación al nivel de la misma capa entre dos hosts	Servicio	Protocolo	Encapsulamiento	Segmento	2	Seleccionar
¿Cuál es la PDU de la capa de transporte se llama	La PDU de la capa de transporte se llama	Mensaje	Datagrama	Segmento	Trama	3	Seleccionar
¿En qué proceso se van agregando cabeceras?	Al mensaje de la capa de aplicación se van agregando cabeceras durante el proceso	De encapsulamiento	De multiplexación	De desencapsulamiento	De servicio	1	Seleccionar
¿En qué capa se encuentran las direcciones IP?	La cabecera con las direcciones IP se agrega/extrae en la capa	De aplicación	De transporte	De enlace	De red	4	Seleccionar
¿Qué examinan los routers?	Los routers desencapsulan la trama recibida para examinar	La dirección IP de destino	La MAC de destino	El puerto de destino	El mensaje de destino	1	Seleccionar
¿Cómo se llaman genéricamente los paquetes de	Al paquete de información de una capa, incluyendo datos y	Paquete	Datagrama	PDU	Unidad	3	Seleccionar

The 'Datos de Flashcard seleccionada' panel shows the following details for the selected flashcard:

- Pregunta:** ¿Cuál es la PDU de la capa de transporte?
- Cuerpo:** La PDU de la capa de transporte se llama
- R1:** Mensaje
- R2:** Datagrama
- R3:** Segmento
- R4:** Trama
- Respuesta Correcta:** Respuesta 3
- Acciones:** Añadir, Modificar, Eliminar

Figura 4. Panel para la composición de las *flashcards* por parte del profesor

- Elaboración de material audiovisual sobre las materias más importantes de la asignatura, con una estructura similar a la de la clase magistral pero en un soporte al que el estudiante puede acceder siempre que le interese.
- Diseño del conjunto de *flashcards* asociadas a cada tema, empleando para ello la herramienta mostrada en la Figura 4 que forma parte de la plataforma web antes mencionada.
- Análisis estadístico de los datos recopilados por la plataforma (véanse las Figuras 5 y 6), entre los que se incluyen la frecuencia de uso de los recursos por parte de cada estudiante, las ratios de acierto tanto por estudiante como por *flashcard*, etc.

Desde la perspectiva del profesor, la información que le aporta esta plataforma ampliaría las posibilidades de personalización del aprendizaje en función de las capacidades y resultados de cada estudiante, algo que es posible cuando se trabaja con grupos reducidos. Para grupos grandes, la clave posiblemente esté en que el profesor, a través de las *flashcards*, plantee las preguntas apropiadas para lograr que el estudiante interactúe con el contenido, no limitándose a ver el vídeo sin más, sino estudiándolo para encontrar las respuestas a esas preguntas. En este sentido, esta herramienta también puede representar un estímulo a la colaboración entre los estudiantes con el objetivo de elaborar lo aprendido a través de los recursos facilitados, poniendo en común conceptos e ideas.

Un hecho importante es que aunque los profesores pueden ir añadiendo recursos y sus correspondientes *flashcards* a lo largo del curso, el estudiante tiene la opción de

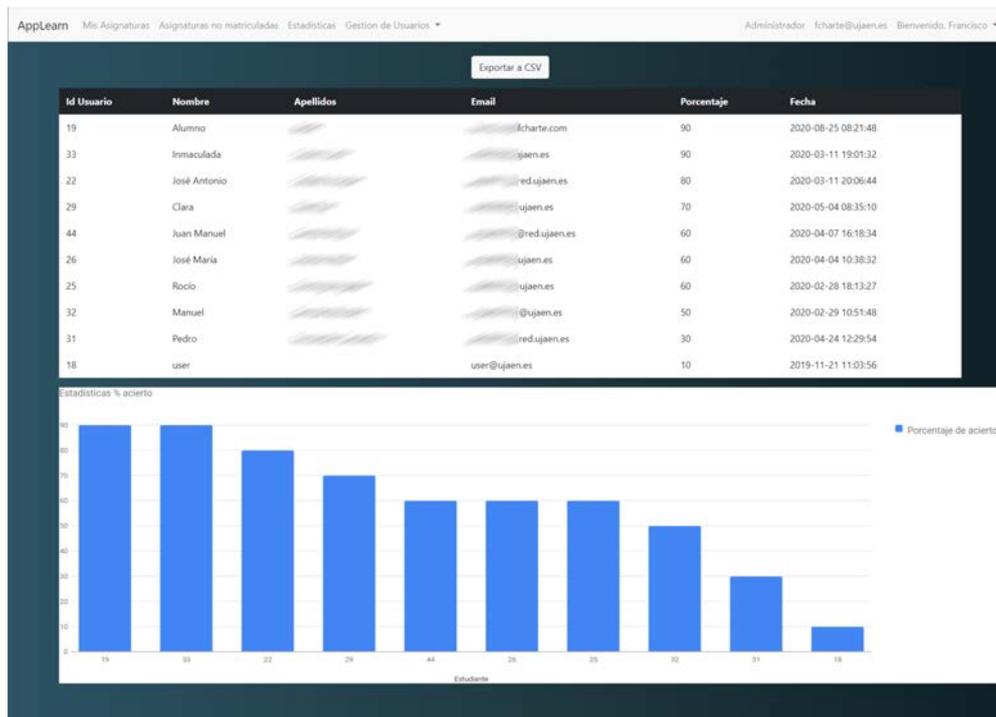


Figura 5. Algunos de los resúmenes estadísticos facilitados por la plataforma ActiveLearn (I)

acceder a los ya disponibles tantas veces como lo precise y sin limitaciones de fechas u horarios. Aunque es algo que queda en gran medida fuera del control del docente, hay que tener en cuenta el bienestar personal del estudiante ya que, por regla general, el estrés es un obstáculo para la concentración. Una forma de reducir ese estrés es permitirle saber en todo momento dónde se encuentra en el proceso de aprendizaje de una materia, una necesidad que la plataforma descrita es capaz de satisfacer.

4.2. El aula invertida como complemento de la clase magistral

Las metodologías relacionadas con el aula invertida [14] son planteadas en muchos casos como una sustitución de la habitual clase magistral. En nuestra opinión dicha metodología, junto con otras estrechamente relacionadas como las ya mencionadas del aprendizaje basado en proyectos, pueden actuar también como un complemento.

En nuestro caso el objetivo que nos planteamos es emplear la plataforma de aprendizaje activo descrita en la sección previa como vía para que los estudiantes adquieran las nociones y conceptos generales sobre la materia, aquellos que no precisan de un análisis demasiado profundo y que esencialmente son objeto de los métodos de estudio clásico, aunque ahora a través de medios digitales. Esto permitirá aliviar la necesidad de clases magistrales durante las horas compartidas entre docentes y estudiantes, si bien estas

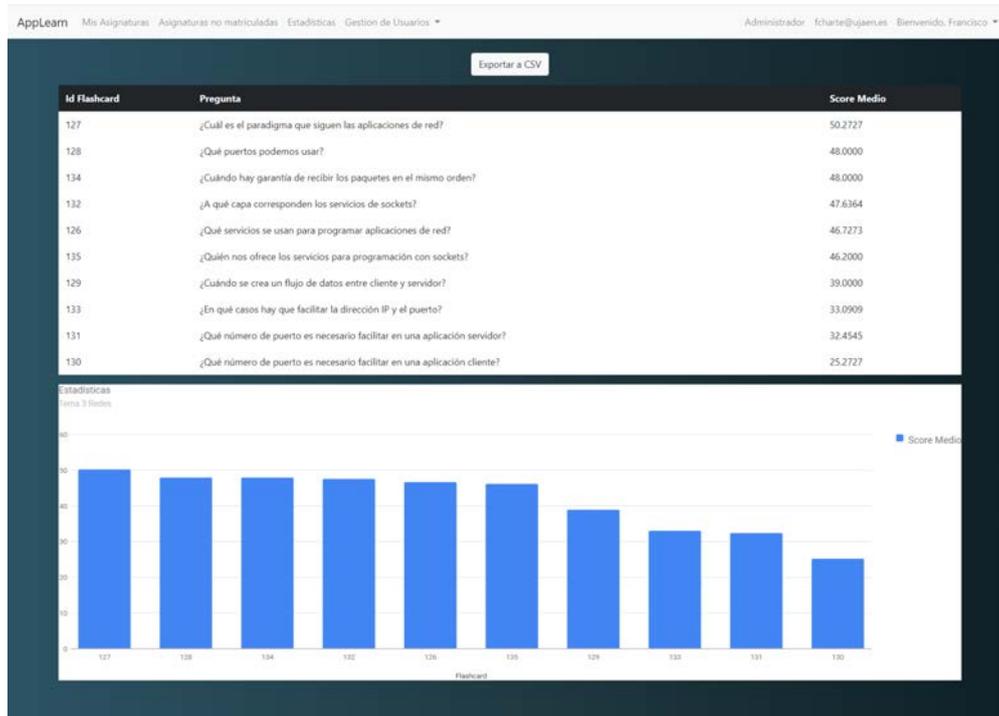


Figura 6. Algunos de los resúmenes estadísticos facilitados por la plataforma ActiveLearn (II)

seguirían siendo imprescindibles para cubrir aspectos concretos más especializados o con un mayor nivel de complejidad. El resto del tiempo se dedicará a discusiones de temas, que los estudiantes habrán preparado a través de la plataforma de aprendizaje activo y otros materiales complementarios que pudieran facilitarse a través de la misma o un LMS tradicional, así como a la resolución de problemas y ejercicios.

Los medios para facilitar esa aula invertida no difieren en exceso dependiendo de la situación que sea preciso afrontar a lo largo del curso. En modalidad presencial, en el aula universitaria, la comunicación resulta más natural e inmediata y la tradicional pizarra sigue siendo probablemente la mejor herramienta de apoyo. En modalidad remota la clase síncrona se desarrollará mediante videoconferencia, mientras que la pizarra física es sustituida por una virtual compartida entre profesor y estudiantes, de forma que es posible la resolución individual o colaborativa de las actividades planteadas.

4.3. Virtualización del material de laboratorio

La adaptación a un sistema de enseñanza remoto resulta relativamente sencillo en cuanto a las herramientas que se precisan para cubrir los aspectos teóricos, muchas de las cuales ya se han citado: sala de videoconferencia, pizarra virtual compartida, etc., y otras que se mencionarán en la siguiente sección. Además, son aplicaciones en gran medida útiles indistintamente de cuál sea la materia concreta de estudio.

En contraposición, la adecuación de las prácticas ha supuesto en general un esfuerzo mayor. En nuestro caso, centrándonos en dos asignaturas concretas, la solución ha venido a través de la virtualización y simulación/emulación de los elementos empleados habitualmente en el laboratorio. En titulaciones de grado y máster relacionadas con la informática esta es una alternativa que puede resultar útil en la mayoría de los casos.

Nuestra asignatura *Programación y administración de redes* cuenta con actividades prácticas en las que los estudiantes conectan físicamente varios ordenadores en redes locales, empleando el cableado y hardware habitual, y llevan a cabo distintas configuraciones y pruebas. El traslado de este tipo de actividades al equipo del estudiante, para que pueda completar sus prácticas desde casa, ha conllevado fundamentalmente una dificultad: ajustar las herramientas a los recursos hardware limitados de dichos equipos que, en ocasiones, eran muy serias en cuanto a memoria disponible y potencia de procesamiento.

La solución fue crear una imagen de máquina virtual con los elementos necesarios para completar las prácticas pero eliminando todos los aspectos innecesarios: interfaz gráfica de usuario, aplicaciones de productividad, etc., consiguiendo así su funcionamiento con solo 256 MB de memoria RAM y un bajo consumo de uso de procesador. Esto permite a los estudiantes iniciar hasta cuatro instancias de la máquina virtual, simulando el uso de otros tantos ordenadores en el laboratorio, procediendo a su configuración con la única diferencia de que no se emplea hardware físico sino virtual (adaptadores de red virtuales). Además del software en sí, también fue preciso facilitar a los estudiantes las instrucciones necesarias para llevar a cabo la configuración de virtualización de forma que pudieran consultarlo siempre que lo necesitasen (<https://www.youtube.com/watch?v=jNUQsmXyj2Q>).

Otra de las asignaturas que teníamos en curso cuando se produjo el confinamiento era *Sistemas empujados y ubicuos*, cuyas prácticas se apoyan en parte en el uso de unas placas de entrenamiento para desarrollo de soluciones basadas en FPGA [26], empleando para ello el software facilitado por el fabricante, en particular Altera Quartus y Lattice IceCube. Este tiene la particularidad de ser bastante pesado, por una parte, y de requerir configuración de licencias, por otro, aspectos ambos resueltos en nuestros laboratorios.

En este caso la solución fue recurrir a herramientas que permiten trabajar con lenguajes de descripción de hardware, como VHDL y Verilog, sin necesidad de herramientas específicas de un fabricante, como es el caso de EDA Playground (www.edaplayground.com) o la combinación de aplicaciones Yosys (www.clifford.at/yosys), Apio (github.com/FPGAwards/apio) y Icestudio (icestudio.io). La mayor limitación de todas ellas es que, en general, no es posible probar las soluciones desarrolladas si no se lleva a cabo un despliegue en una placa FPGA. Para suplir esta carencia se recurrió al emulador Deeds (www.digitalelectronicsdeeds.com) que, a través de su interfaz gráfica, permite interactuar con las entradas y salidas del circuito diseñado y comprobar su funcionamiento.

Para el curso 2020/2021 los mecanismos de virtualización, incluso si la realización de las prácticas de forma presencial fuese posible, seguirán empleándose a fin de que los estudiantes puedan planificar e incluso llegar a desarrollar sus actividades prácticas empleando una configuración idéntica o muy cercana a la que tendrá luego en el laboratorio.

4.4. Comunicación durante y fuera de las clases

Un aspecto que en ocasiones se minusvalora durante la actividad presencial en el aula, probablemente porque siempre se ha dado por hecha, es la comunicación tanto durante el desarrollo de las clases como fuera de estas. Por una parte es importante la comunicación profesor-estudiante, pero sobre todo, como se apuntaba anteriormente, entre los propios estudiantes.

Los mecanismos usados tradicional para hacer posible esa comunicación, especialmente en el caso estudiante-profesor, son el correo electrónico y las tutorías. Los foros en el LMS son también una vía de contacto, tanto con el profesor como entre los propios estudiantes. No obstante, no hemos de ignorar que los alumnos están habituados a emplear sobre todos redes sociales [27] para comunicarse entre ellos, medio que les resulta más natural.

Nuestra experiencia en este área, concretamente con el uso de Twitter (https://twitter.com/EPSJ_PAR) a través de una cuenta específica para la asignatura como se aprecia en la Figura 7, ha sido positiva encontrando una buena acogida por parte de los estudiantes. Habitualmente empleamos este canal para hacer llegar avisos, enlaces a herramientas y noticias relacionadas con la asignatura, que los estudiantes difunden a través de sus propias cuentas. En menor medida, este medio también es empleado por ellos para plantear cuestiones que son respondidas tanto por sus compañeros como por el profesorado.

La comunicación entre los estudiantes en situación presencial es un punto de apoyo que pierden en gran medida en caso de que la situación impida la asistencia al aula. Con el objeto de facilitar tanto la compartición de recursos entre ellos como la coordinación, por ejemplo a la hora de llevar a cabo actividades colaborativas, es fundamental contar con las herramientas adecuadas. En nuestro caso nos decantamos fundamentalmente por dos opciones concretas, ambas aplicaciones web accesibles desde cualquier dispositivo con conexión a Internet:

- **Symbaloo** - www.symbaloo.com: a través de sus *WebMix*, esta aplicación permite a los estudiantes recopilar enlaces a recursos de todo tipo alojados en la web u otro tipo de fuentes, como RSS, *podcast*, etc. Cada *WebMix* puede ser privado o público y su configuración es muy flexible, de forma que es posible agrupar las losetas que representan los recursos según las necesidades, diferenciar grupos por colores, establecer losetas que dan paso a grupos de losetas, etc. En la Figura 8 se muestra el *WebMix* inicial que se facilitaría a los estudiantes de la asignatura *Programación y administración de redes*, conteniendo enlaces de referencia como IEEE, IETF y W3C. Sobre ella, los propios estudiantes pueden ir agregando otros recursos de manera colaborativa. Esto les permite contar con un conjunto de materiales de estudio que en gran parte ellos mismos han seleccionado por su utilidad para el aprendizaje de la materia o la resolución de problemas asociados a la misma.
- **Trello** - trello.com: esta herramienta lleva siendo usada desde hace años por algunos de los autores para la coordinación de trabajos propios, pero resulta también adecuada para la coordinación de tareas en las que trabajarán los estudiantes por grupos. Como se aprecia en la Figura 9, el profesor puede crear en la pizarra del



Figura 7. Cuenta de Twitter para una de las asignaturas impartidas por los autores

curso actual diferentes listas de tareas, cada una de ellas compuesta de un conjunto de parámetros: recursos asociados a la tarea, miembros de participarán en la misma, hitos a ir superando a lo largo del tiempo, vencimiento de la tarea, etc. Las opciones de Trello permiten, no solo que los estudiantes se coordinen entre sí, sino que también da oportunidad al docente de supervisar el trabajo desarrollado por cada uno de ellos.

La selección de utilidades generales para la compartición y coordinación, como las ya citadas, no es óbice para que durante el desarrollo de tareas concretas se recurra a otras herramientas más específicas, como son Github/Gitlab (github.com/gitlab.ujaen.es) para el desarrollo colaborativo de proyectos, Overleaf (www.overleaf.com) o Google Docs (docs.google.com/) para la composición de documentos por grupos, etc.



Figura 8. Webmix de inicio para la asignatura *Programación y administración de redes*

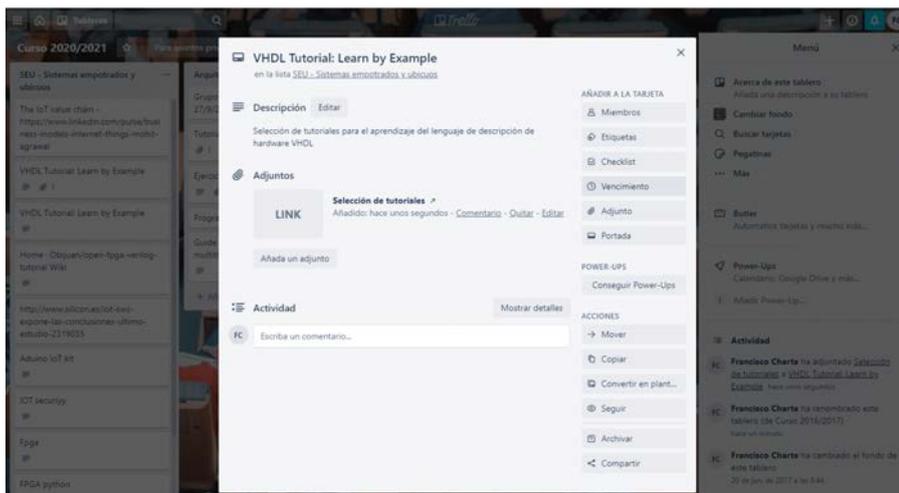


Figura 9. Configuración de una tarea en Trello, estableciendo miembros que participarán y fecha de vencimiento

4.5. Técnicas de evaluación alternativas

La adaptación de los sistemas de evaluación a una modalidad no presencial ha sido probablemente el desafío que más discusiones y diferencias ha generado entre todas las partes, especialmente entre los estudiantes y los docentes cuando estos últimos han

optado por recurrir a un sistema de *proctoring* [28] que, en general, no es bienvenido por los primeros.

Partimos de una situación general de desconfianza entre las partes, en la que el profesor actúa a veces más como vigilante que como docente, en un sistema rígido que da pocas oportunidades a la innovación en este sentido. Se prima mucho más la evaluación individual basada en memorizar conocimientos que otros aspectos, tanto o más importantes, como es la capacidad del trabajo en grupo y para la resolución de problemas.

Tenemos herramientas para cambiar esto, como puede ser la evaluación mediante aprendizaje basado en proyectos [29,30]. Aunque muchos asocien esta metodología con otras más recientes, como el aula invertida, y tengan la noción de algo novedoso y no probado, el aprendizaje basado en proyectos viene utilizándose desde hace casi cien años.

Nuestra propuesta es el uso combinado de múltiples vías de evaluación con un reparto de pesos adecuado. Concretamente recurriremos a las siguientes herramientas:

- Evaluación del aprendizaje activo y continuado mediante la realización de tests frecuentes en clase usando la herramienta Kahoot! (kahoot.com).
- Evaluación basada en proyectos específicos que potencien las habilidades de recopilación, curación y elaboración de contenidos relacionados con la materia de estudio (descrito en detalle después).
- Evaluación de habilidades prácticas mediante un sistema dual que, por una parte, incluye la realización síncrona de tareas bajo las indicaciones del profesor, ya sea en el aula o mediante la compartición del escritorio del estudiante, y por otra la realización de test sobre conceptos prácticos.
- Evaluación de la capacidad de resolución de problemas teórico/prácticos, ya sea mediante un examen tradicional realizado de forma síncrona o con metodologías basadas en proyectos [31].

A modo de ejemplo de actividad de evaluación basada en proyectos, presentamos a continuación la propuesta *Videos 1 tema en 1 minuto*. Se trata de una tarea creativa, de alto nivel cognitivo, que requiere de guía y supervisión por parte del profesor, aparte de representar una técnica de evaluación alternativa al tradicional examen escrito. La infografía de presentación es la mostrada en la Figura 10 y a continuación se detalla la información que los estudiantes obtienen al interactuar con ella Genial.ly³.

Visión general de la actividad ofrecida a los estudiantes

- **Objetivos:** esta actividad forma parte de la evaluación de contenidos teóricos de la asignatura, siendo su principal objetivo que el/la estudiante refuerce su conocimiento sobre un tema específico, mejore sus capacidades de comunicación y favorezca el trabajo en grupo entre estudiantes. Una vez asignado un tema, cada estudiante recopilará información sobre él, curará el contenido con ayuda de otros estudiantes y elaborará un vídeo explicando lo esencial sobre dicho tema.

³ <https://view.genial.ly/5eec64a9b4bde70d10f15ad1/horizontal-infographic-review-curacion-de-contenidos-en-el-aula-programacion-y-administracion-de-redes>

Programación y administración de redes - Ingeniería en Informática
VÍDEOS "1 TEMA EN 1 MINUTO"

OBJETIVOS	BÚSQUEDA	SELECCIÓN	CARACTERIZACIÓN	DIFUSIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Reforzar el aprendizaje de aspectos clave de la materia • Potenciar las capacidades de comunicación del estudiante • Favorecer la colaboración y el trabajo en grupo 	<ul style="list-style-type: none"> • RFC: documentos de referencia sobre protocolos de red • IEEE: información sobre estándares de redes de comunicaciones • W3C: especificaciones relativos a la web 	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación: agrupar los contenidos en un Webmix de Symbaloo compartido • Votación: generar ranking de utilidad según el voto de los demás estudiantes • Curación: selección de los contenidos relevantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Planifica: prepara un guion con las ideas esenciales a transmitir • Produce: elige las herramientas adecuadas para realizar tu trabajo • Elabora: graba un video explicando tu tema 	<ul style="list-style-type: none"> • Publica: sube tu video a YouTube! Usa tu canal o el canal de la asignatura • Anuncia: avisa al resto de la clase de que tu video está disponible • Notifica: envía a tu profesor el enlace al video

NORMATIVA Y AYUDAS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN
<p>Respetar la normativa de realización del trabajo y seguir las pautas de ayuda</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Grado de cumplimiento con la normativa de la actividad • Grado en que el video cubre los aspectos más importantes del tema • Grado de claridad, concisión y seguridad en la exposición del tema expuesto • Uso de recursos dirigidos a hacer más fácil la comprensión del tema expuesto

Figura 10. Presentación dinámica de la actividad *Videos 1 tema en 1 minuto*

- **Búsqueda:** usa fuentes de información fiables, como son los RFC (*Request For Comments*) oficiales y las especificaciones publicadas por IEEE y W3C. También puedes recurrir a libros y artículos científicos.
- **Selección:** comparte tus contenidos con el resto de estudiantes en el Webmix compartido de la asignatura. Colabora en la curación de los contenidos aportados por los demás estudiantes. Selecciona de tus contenidos los mejor valorados por tus compañeros/as.
- **Caracterización:** usando los contenidos ya curados de la fase anterior acerca del tema de interés, planifica un guion que te permita explicar lo esencial de una forma comprensible. Usa las herramientas que te resulten más cómodas para generar un vídeo con tu explicación.
- **Difusión:** una vez creado el vídeo, súbelo a tu canal de YouTube u otro servicio de publicación de vídeos como vídeo privado y facilita el enlace a los profesores. También puedes usar el canal en YouTube de la asignatura si prefieres hacerlo público, de esta forma a continuación podrás promocionar tu trabajo anunciándolo a los demás estudiantes. No olvides notificar a tu profesor la disponibilidad del vídeo para que pueda evaluarlo.

Normativa y consejos mostrados a los estudiantes

Los trabajos realizados en esta actividad deben de cumplir la siguiente normativa:

- Cada estudiante realizará un vídeo sobre el tema asignado.
- En el vídeo debe aparecer el estudiante durante la mayor parte del tiempo.

- El vídeo tendrá una duración de entre 1:00 y 1:30 minutos.
- El vídeo comenzará con una portada de unos segundos indicando su título o tema.
- El vídeo deberá generarse en formato MP4.
- El vídeo se entregará mediante la plataforma ILIAS⁴.

Condensar un cierto concepto o tema en un minuto nos forzará a extraer lo esencial, lo importante, para lo cual es indispensable conocer muy a fondo dicho tema. Se os recomienda lo siguiente:

1. Comienza recopilando toda la información posible sobre el tema en cuestión, asegurándote de que usas fuentes fidedignas como son libros, especificaciones o artículos científicos.
2. Estudia a fondo el material que hayas obtenido, crea esquemas que resuman las ideas y extrae de ellas los aspectos más vitales para comprender el tema a exponer. Si lo haces sobre papel te resultará más fácil.
3. Prepara un guion con entre 4 y 6 puntos, centrando cada uno de ellos en un aspecto de los identificados en el paso previo. Ten en cuenta que tendrás entre 10 y 15 segundos para explicar cada punto.
4. Prepara las herramientas que vas a usar para la grabación, puedes usar tu móvil o una webcam, sin olvidar tu guion y un cronómetro que puedas estar viendo en todo momento.

No es imprescindible grabar el vídeo en una sola toma. Puedes grabar distintas partes, incluso usando diferentes dispositivos, por ejemplo, para recurrir a recursos que hagan más fácil la comprensión del tema grabándolos con el móvil. También puedes usar diagramas o cualquier material que hayas creado, en papel o en el ordenador.

Criterios de evaluación

Los profesores calificarán los trabajos entregados por los estudiantes atendiendo a los siguientes criterios:

- Grado de cumplimiento con la normativa de la actividad antes expuesta
- Grado en que el vídeo cubre los aspectos más importantes del tema correspondiente
- Grado de claridad, concisión y seguridad en la exposición del tema
- Uso de recursos dirigidos a hacer más fácil la comprensión del tema expuesto

Resultados de la experiencia

En el curso 2019/2020 ya finalizado, durante la fase de confinamiento, realizamos esta propuesta ofreciendo 100 temas diferentes relacionados con la asignatura *Programación y administración de redes*, tantos como estudiantes matriculados en la misma. De ellos se asignaron 92 a estudiantes que lo solicitaron, de los cuales finalmente se entregaron y evaluaron 90. La experiencia fue gratificante para una buena parte de los estudiantes, algo que quedó plasmado en la creatividad que desplegaron en la realización de sus vídeos. Es una vía de evaluación que pretendemos seguir empleando en el próximo curso, conjuntamente con las otras ya mencionadas, con independencia de la situación y nivel de presencialidad.

⁴ ILIAS es el LMS usado en la Universidad de Jaén

5. Conclusiones

El sistema educativo tiene una gran inercia que viene propiciada de su propia tradición como componente sociocultural y no es posible cambiarlo de un día para otro, sería como intentar girar bruscamente la dirección de un camión a toda velocidad. Por ello es preciso ir iniciando ese giro cuanto antes, suave pero constantemente, favoreciendo una adaptación que se antoja será imprescindible en el futuro más inmediato.

Hace 20 años los estudiantes usaban la biblioteca para consultar libros, mientras que en la actualidad recurren mucho más a Google, YouTube y herramientas digitales. Por ello localizar los recursos de aprendizaje ya no es tan importante como antes, en la actualidad el acceso a recursos digitales es mucho más sencillo, debiéndose poner el énfasis en la construcción de conocimiento a partir de esas fuentes de datos.

Desde nuestra perspectiva el uso de nuevas metodologías y herramientas, sobre todo tecnológicas, no va en contra de la presencialidad, la cual es fundamental para aspectos como la comunicación, o la tradicional clase magistral. Lo ideal es tomar lo mejor de los dos mundos, el digital y el presencial, para dar lugar a un contexto de aprendizaje mixto, un ecosistema que permita al estudiante continuar con independencia de cuál sea la situación concreta en cada momento y los cambios que puedan producirse a lo largo del tiempo. Es aquí donde elementos como la pizarra digital compartida, la virtualización de medios de laboratorio, el aprendizaje activo y basado en proyectos o la innovación en los modelos de evaluación, entre otros aspectos descritos en este artículo, jugarán un papel fundamental de cara al éxito en el proceso de enseñanza/aprendizaje.

Referencias

1. M. de Educación y Ciencia secretaria de Estado de Universidades e Investigación, Propuestas para la renovación de las metodologías educativas en la Universidad, Tech. rep. (2006).
2. L. J. C. Rodríguez, Efectos del coronavirus en el sistema de enseñanza: aumenta la desigualdad de oportunidades educativas en España., *Revista de Sociología de la Educación-RASE* 13 (2) (2020) 114–139.
3. N. G. Fernández, M. L. R. Moreno, J. R. Guerra, Brecha digital en tiempo del covid-19, *Revista Educativa HEKADEMOS* (28) (2020) 76–85.
4. J. Silva, Un modelo pedagógico virtual centrado en las e-actividades, *Revista de Educación a Distancia (RED)* (53).
5. Y. d. V. Ramírez León, et al., Adaptación del diseño de unidades didácticas a estilos de aprendizaje en entornos virtuales de enseñanza-aprendizaje.
6. W. R. Zambrano, V. H. M. García, A. V. M. García, Nuevo rol del profesor y del estudiante en la educación virtual, *Dialéctica: Revista de investigación* (26) (2010) 51–62.
7. L. W. Anderson, L. A. Sosniak, Bloom's taxonomy, Univ. Chicago Press Chicago, IL, 1994.
8. S. Freeman, S. L. Eddy, M. McDonough, M. K. Smith, N. Okoroafor, H. Jordt, M. P. Wenderoth, Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (23) (2014) 8410–8415.
9. P. C. Blumenfeld, E. Soloway, R. W. Marx, J. S. Krajcik, M. Guzdial, A. Palincsar, Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning, *Educational psychologist* 26 (3-4) (1991) 369–398.

10. M. A. Albanese, S. Mitchell, et al., Problem-based learning: A review of literature on its outcomes and implementation issues, *ACADEMIC MEDICINE-PHILADELPHIA-* 68 (1993) 52–52.
11. J. Hattie, *Visible learning for teachers: Maximizing impact on learning*, Routledge, 2012.
12. J. Hattie, The applicability of visible learning to higher education., *Scholarship of teaching and Learning in Psychology* 1 (1) (2015) 79.
13. D. M. Fetterman, S. J. Kaftarin, S. J. Kaftarian, A. Wandersman, *Empowerment evaluation: Knowledge and tools for self-assessment and accountability*, Sage, 1996.
14. P. M. DeWitt, *Flipping leadership doesn't mean reinventing the wheel*, Corwin Press, 2014.
15. J. Biggs, Enhancing teaching through constructive alignment, *Higher education* 32 (3) (1996) 347–364.
16. G. T. Brown, G. H. Hirschfeld, Students' conceptions of assessment: Links to outcomes, *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice* 15 (1) (2008) 3–17.
17. R. A. Bjork, J. Dunlosky, N. Kornell, Self-regulated learning: Beliefs, techniques, and illusions, *Annual review of psychology* 64 (2013) 417–444.
18. H. Frick, J. Birt, J. Waters, Enhancing student engagement in large management accounting lectures, *Accounting & Finance* 60 (1) (2020) 271–298.
19. I. Palomares, M. Espinilla, L. Martínez, Implantation and evaluation of ICT resources oriented to selflearning and self-assessment, in: *International Conference Interactive Computer Aided Learning*, IEEE, 2012, pp. 1146–1149.
20. M. S. Ibarra Sáiz, G. Rodríguez Gómez, *Aprendizaje autónomo y trabajo en equipo: reflexiones desde la competencia percibida por los estudiantes universitarios.*, *Revista electrónica interuniversitaria de Formación del profesorado* 14 (4).
21. G. L. Placencia, Los video-tutoriales en la educación universitaria del siglo xxi, *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa* 2 (3).
22. S. Waite, B. Davis, Developing undergraduate research skills in a faculty of education: Motivation through collaboration, *Higher Education Research & Development* 25 (4) (2006) 403–419.
23. R. Schmidmaier, R. Ebersbach, M. Schiller, I. Hege, M. Holzer, M. R. Fischer, Using electronic flashcards to promote learning in medical students: retesting versus restudying, *Medical education* 45 (11) (2011) 1101–1110.
24. M. Espinilla, A. Fernandez, J. Santamaría, A. J. Rivera, Gamificación en procesos de auto-entrenamiento y auto-evaluación, *Enseñanza y aprendizaje de ingeniería de computadores: Revista de Experiencias Docentes en Ingeniería de Computadores* 6.
25. D. Dicheva, C. Dichev, G. Agre, G. Angelova, Gamification in education: A systematic mapping study., *Journal of Educational Technology & Society* 18 (3).
26. F. Charre Ojeda, M. Espinilla Estévez, A. J. Rivera Rivas, F. J. Pulgar Rubio, Uso de dispositivos FPGA como apoyo a la enseñanza de asignaturas de arquitectura de computadores, *Enseñanza y aprendizaje de ingeniería de computadores: Revista de Experiencias Docentes en Ingeniería de Computadores* (7) (2017) 37–52.
27. B. C. Judd, C. A. Graves, Cellular stem: Promoting interest in science, technology, engineering, and math education using cellular messaging, cloud computing, and web-based social networks, in: *2012 12th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (ccgrid 2012)*, IEEE, 2012, pp. 799–804.
28. K. Hylton, Y. Levy, L. P. Dringus, Utilizing webcam-based proctoring to deter misconduct in online exams, *Computers & Education* 92 (2016) 53–63.
29. Y. Doppelt, Implementation and assessment of project-based learning in a flexible environment, *International journal of technology and design education* 13 (3) (2003) 255–272.

30. Y. Gülbahar, H. Tinmaz, Implementing project-based learning and e-portfolio assessment in an undergraduate course, *Journal of Research on Technology in Education* 38 (3) (2006) 309–327.
31. A. Badia, C. García, Incorporación de las TIC en la enseñanza y el aprendizaje basados en la elaboración colaborativa de proyectos, *International Journal of Educational Technology in Higher Education* 12 (3) (2006) 42–53.

Estudio de la influencia del confinamiento debido a la COVID-19 en padres, alumnado y profesorado en ESO y FP

Rosa Pérez¹, Claudia Villalonga², Oresti Baños¹, Alberto Guillén¹

¹ Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores, Universidad de Granada
Granada, España
{aguillen, oresti}@ugr.es

² Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología, Universidad Internacional de La Rioja
Logroño, España
claudia.villalonga@unir.net

Resumen. En este artículo se describe una investigación educativa en la que se estudia cómo afecta el confinamiento a alumnos, padres y profesores de secundaria, bachillerato y formación profesional. Dicho confinamiento surgió para evitar la propagación de la pandemia originada por la enfermedad COVID-19 y provocó que los alumnos y docentes se viesen obligados a tener clases online. Esto ha supuesto grandes retos y dificultades que han afectado a su estrés, motivación y aprendizaje. Se ha realizado un análisis sobre cómo se está llevando a cabo la docencia virtual y se ha comprobado que no ha tenido una organización eficiente, por lo que se ha elaborado una propuesta de mejora para situaciones similares futuras.

Palabras Clave: confinamiento, metodología docente, alumnado, COVID-19

Abstract. This work presents a research on the effects of confinement on students, families and teaching staff at high school. The confinement was originated within the context of the COVID-19 pandemic and it forced all the individuals to rapidly transition from in-class to online teaching. This new teaching context has made the situation even more stressful and challenging for both students and teachers. The research described in this article questions how online teaching has been developed during the pandemic. In addition to that, the paper proposes some recommendations for the relevant stakeholders to improve the teaching organisation and procedures for a future confinement.

Keywords: confinement, teaching methodology, students, COVID-19

1 Introducción

España se enfrenta a una situación muy complicada debido a la pandemia COVID-19, en la que los jóvenes se han visto obligados a no poder salir de casa y a recibir las clases online. Permanecer todo el día en casa privados de clases, actividades con sus amigos, juegos y ejercicios al aire libre, puede derivar en un aumento del estrés, irritabilidad o ansiedad. Todo ello genera que necesiten llamar más la atención en casa causando multitud de conflictos domésticos. Es una situación nueva y extraña para todos, por lo que hay que tener mucho cuidado sobre cómo gestionarla. La acción de los padres es fundamental, ya que deben gestionar las emociones de sus hijos y proponerles alternativas para canalizar sus emociones. Es importante mantener rutinas y horarios [1].

Además, las clases online conllevan multitud de dificultades y problemas. Por un lado, tanto los profesores como los alumnos no suelen tener una gran experiencia impartiendo y recibiendo docencia de forma virtual. Por otro lado, no todas las familias tienen acceso a Internet y en muchos casos los jóvenes no disponen de un ordenador propio [2]. Hay que tener en cuenta que hay personas que se juegan la obtención de un título, como el de E.S.O. (Educación Secundaria Obligatoria), Bachillerato o FP (Formación Profesional) y otras que ven peligrar su acceso a la universidad. Todos los factores mencionados pueden generar estrés y desmotivación. A todo ello hay que añadir que, además de la brecha digital, hay familias que tienen problemas muchos más graves como puede ser el desempleo o la posible pérdida de la vivienda. Por ello es de vital importancia que las administraciones públicas gestionen de la mejor forma posible estos casos proporcionando ayuda económica, educativa y psicológica a las familias más desfavorecidas.

Un problema que se plantea en todos los niveles educativos es la evaluación. El ministerio de educación de España acordó con las diferentes comunidades autónomas que todos los alumnos de ESO, FP y Bachillerato pasasen de curso salvo casos muy excepcionales [3]. En la Instrucción del 23 de abril de 2020 se detalla cómo deben actuar los docentes ante la evaluación de los alumnos. Aquí se especifica que sólo se tendrán en cuenta los dos primeros trimestres y que el tercero únicamente se tendrá en cuenta en la evaluación del estudiante para mejorar, en ningún caso perjudicará al alumno. Además, no es necesario impartir los elementos del currículum que continúen en el año académico 2020/2021. En todo momento se antepondrá la salud emocional y física del alumno y se tendrá en cuenta su contexto. Se primará el repaso y la recuperación de los dos primeros trimestres. No obstante, en Educación Secundaria, Bachillerato y Formación Profesional, el profesorado no está muy a favor de esta medida [4]. Los docentes son partidarios de evaluar los objetivos mínimos del currículum con los medios que tienen a su disposición. Sin embargo, la evaluación virtual es muy compleja, ya que es difícil detectar la autoría de las tareas y exámenes. Por todo ello, es necesario que haya responsabilidad por parte de la Administración, con dotación de recursos para satisfacer las necesidades de las familias más desfavorecidas; responsabilidad de los profesores, ajustando las programaciones y unidades didácticas conforme a la Instrucción del 23 de abril; y responsabilidad de los alumnos y sus familias ante esta situación.

Antes del confinamiento la mayoría de adolescentes ya pasaban más tiempo conectados a Internet que estudiando según una investigación realizada en España,

Reino Unido y Estados Unidos [5], cuyos resultados se muestran en la Figura 1. No obstante, este hecho posiblemente se incremente con el estado de confinamiento con sus correspondientes repercusiones. Sin embargo, no es aconsejable que los padres sean demasiados exigentes, sino que deben aplicar "el principio de la amabilidad y la firmeza", conseguir un balance entre autoridad y generosidad, ganándose el respeto de sus hijos desde la comprensión. Además, los menores deben sentirse protagonistas de la situación, siendo los padres los que les ayuden a ver que su papel es muy importante a la hora de controlar la pandemia. A todo ello hay que añadir que los padres pueden aprovechar esta situación para hacerles ver el uso correcto de las nuevas tecnologías, como puede ser el contacto con otros familiares o tours virtuales alrededor de todo el mundo [1].

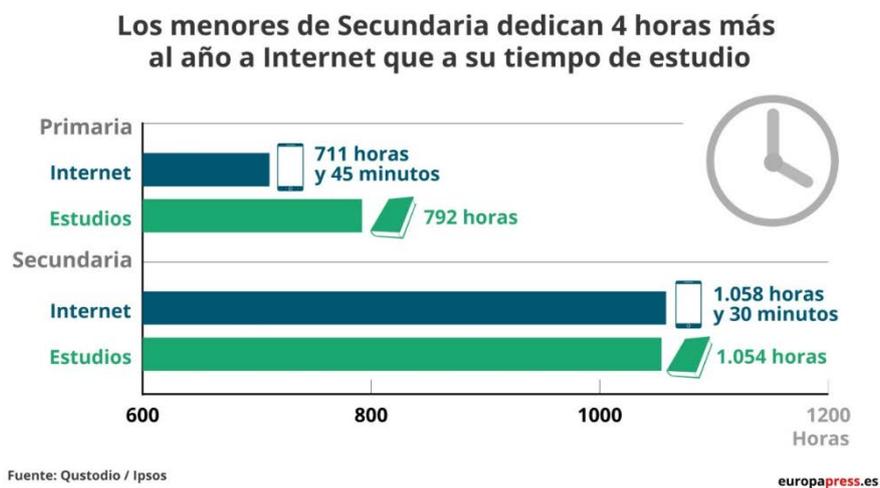


Figura 1. Comparativa entre el tiempo que los adolescentes dedican a Internet y a estudiar (Fuente: Europapress, 2019)

Hay muchos estudiantes que piensan que la docencia online es un caos, ya que desde la Administración educativa se deberían establecer directrices claras sobre cómo actuar en los diferentes centros. Sin embargo, éstas han dejado caer todo el peso de la responsabilidad en los docentes, generando un gran caos y descontrol en el uso de diversas herramientas, que lejos de ayudar a los estudiantes, han aumentado su estrés y desprecio hacia las clases virtuales. A ello se suma el hecho de que muchos estudiantes piensan que la carga académica es excesiva para la situación vivida. Un aspecto positivo es que se está fomentando la capacidad de aprender de forma autodidacta, no obstante, se debería liberar un mayor volumen de contenido académico en la red, para que fuese de dominio público y todos los estudiantes pudiesen consultarlo independientemente de su economía. Además, la inmensa mayoría de las plataformas de aprendizaje utilizadas pertenecen a empresas privadas, por lo que en cierta medida se está "privatizando" la educación [6].

Como se ha comentado en el capítulo anterior, la actividad física es fundamental para un correcto desarrollo del individuo. El confinamiento puede afectar gravemente a la salud mental de los adolescentes [7] y puede generarles depresión y un doble

aislamiento [8]. Los menores necesitan realizar ejercicio para el buen desarrollo de su sistema nervioso, ya que los estímulos permiten desarrollar el aprendizaje. El hecho de estar encerrados es antinatural y puede generar graves consecuencias.

Por todo ello es muy importante realizar una investigación acerca de la docencia online, las herramientas virtuales usadas, la competencia que tienen los profesores y alumnos con dichas tecnologías, el estrés, la motivación, la importancia del factor humano, el deporte realizado en casa, las horas de estudio o la actividad más realizada durante el día.

Dejando a un lado todos los problemas que conlleva el confinamiento, hay que buscar soluciones. Las clases virtuales también ofrecen una serie de ventajas, ya que hay diferentes plataformas que permiten realizar vídeo llamadas entre el profesor y sus estudiantes para impartir las clases online, ofreciendo la posibilidad de grabar dichas clases para que los alumnos que no han podido asistir las vean en diferido. Además, los alumnos pueden centrarse completamente en las explicaciones del profesor, aprovechando las clases grabadas para consultar contenidos, dudas a posteriori o tomar algún apunte. Es importante tener en cuenta que durante las clases presenciales hay una gran comunicación implícita en el lenguaje corporal y los gestos faciales. Es importante realizar multitud de preguntas por parte del profesor para asegurarse de que los alumnos han comprendido correctamente los contenidos impartidos. También hay que definir de manera clara y concisa las tareas que debe realizar el alumnado para que no haya lugar a confusión [9]. Por ello se evaluará cómo son actualmente las clases presenciales y se realizará una propuesta de mejora a partir de la información obtenida.

2 Metodología

2.1 Población y muestra

Para valorar cuáles son los instrumentos de recogida de información óptimos para esta investigación, hay que tener en cuenta la población (conjunto de individuos que poseen una característica determinada) y la muestra (subconjunto significativo de la población) [10]. Tras consultar la colaboración de varios centros de la provincia de Málaga y Granada, el I.E.S. María Zambrano aceptó su participación en la investigación propuesta. Por lo tanto, el estudio está compuesto por 3 poblaciones (profesores, alumnos y padres), cuya muestra está formada por los individuos que rellenaron el consentimiento informado. Además, se dividen en tres estratos (ESO, Bachillerato y FP).

Dicho centro se encuentra situado en la localidad de Torre del Mar, en la costa oriental de la provincia de Málaga, entre el barrio Las Malvinas y Viña Málaga. Gran parte del alumnado reside en dichos barrios, otros en El Tomillar y un número importante de estudiantes viene de pequeñas poblaciones próximas a dicha localidad, como son Almayate o Benajafé. En cuanto a las familias, hay una gran diversidad, desde niveles sociales bajos hasta clase media alta. De acuerdo al proyecto educativo del centro [11], una inmensa mayoría considera que sus hijos continuarán su formación

en estudios universitarios y postobligatorios. La mayoría de los estudiantes se encuentran entre los 12 y 22 años, en función del curso que estén realizando. No obstante, hay alumnos estudiando Formación Profesional con edades más avanzadas. La mayoría de las personas que se encuentran realizando sus estudios en el centro son adolescentes, en cuyo período de la vida tienen lugar cambios importantes tanto psicológicos como físicos y fisiológicos. Además, es en esta etapa cuando cambian del pensamiento concreto al formal o abstracto. No obstante, este cambio es diferente para cada persona lo cual se traduce en una gran diversidad en el aula.

Se trata de un centro bilingüe en el que se imparten clases en español e inglés. Las enseñanzas que se ofertan son ESO, Bachillerato, FP y P.M.A.R. (Programas para la Mejora del Aprendizaje y el Rendimiento) y A.T.A.L. (Aula Temporal de Adaptación Lingüística). El instituto también cuenta con estudiantes que tienen necesidades especiales de apoyo educativo (N.E.A.E.), en su mayoría por problemas de aprendizaje. Por ello, el centro cuenta con un profesional de pedagogía terapéutica.

El centro cuenta con multitud de programas internacionales como "Comenius", "Bachillerato Internacional" y "Erasmus". También se ofrecen proyectos culturales como "Programa Aldea", "Forma Joven" o "Escuela: Espacio de Paz" [11].

2.2 Recogida de información

A continuación, se comenta cada instrumento de recogida de información y se eligen aquellos que se adaptan mejor al estudio concreto. Concretamente se utiliza el cuestionario para recoger la información de las tres poblaciones (uno para cada uno de ellas). Asimismo, se emplean entrevistas personales que permiten recabar percepciones y opiniones directas de los alumnos, profesores y padres/madres.

Son numerosos los estudios realizados sobre el rendimiento académico usando el cuestionario [12, 13]. Por lo tanto, en este trabajo se recaban datos a través de tres cuestionarios diferentes: uno para los padres/madres; otro para los alumnos; y un tercero para los docentes. Con ello se consigue contrastar la información aportada por el estudiante y el entorno, permitiendo extraer conclusiones mucho más certeras, para poder realizar un plan de mejora con mayor nivel de éxito.

Para la redacción de los ítems que forman este instrumento hay que tener en cuenta una serie de instrucciones [14, 15, 16]:

- Deben ser claros y simples para que puedan ser comprendidas por todos los sujetos.
- Deben ser muy breves. Hay que tener en cuenta que los adolescentes no suelen tener una gran atención lectora, por lo que las preguntas no deberán superar las 25 palabras.
- Deben obviarse las palabras que lleven a interpretaciones confusas. Para que una pregunta sea precisa las personas encuestadas tienen que comprenderla del mismo modo. Las especificaciones temporales o numéricas deben ser concretas, como pueden ser "dos veces al mes" o "todas las semanas". Hay que evitar expresiones como "a menudo", "de vez en cuando" o "casi nunca".
- Deben ser neutrales para que no influyan en la respuesta de los encuestados y no se creen sesgos que impidan saber la verdadera opinión de los sujetos.

- Deben eludirse aquellas formuladas en tono negativo ya que son más complicadas de entender.
- Deben evitarse aquellas que en las que el encuestado deba hacer un gran uso de memoria. Si es absolutamente necesario, se deben realizar cuestiones focalizándose en los sucesos más próximos, ofreciendo una serie de respuestas exhaustivas.
- Deben incluir una única idea para no dar lugar a confusión.
- Deben estar adecuadas al individuo al que se dirigen.

El contenido de los ítems es muy importante, pero también lo es su orden:

- Las cuestiones tienen que ir de menos a más comprometidas.
- Las cuestiones deben seguir una secuencia lógica de temas.
- Las primeras preguntas deben ser simples.
- Los ítems de identificación suelen ir al principio y deben garantizar el anonimato.
- Las cuestiones cuya respuesta suponga seleccionar una serie de cuadros deben colocarse de modo que no resulten fatigosas.

Teniendo en cuenta estos elementos listados y los objetivos del estudio, se definen las siguientes variables que se medirán a través del cuestionario: grado de satisfacción de las clases virtuales, grado de satisfacción de las clases presenciales, grado de satisfacción de las medidas académicas adoptadas por el Ministerio de Educación, motivación académica, experiencia en plataformas virtuales, deporte, estudio y entorno en el hogar.

Los cuestionarios deben ofrecer la posibilidad de responderse en menos de 15 minutos para evitar la fatiga del encuestado. Se debe proporcionar absoluta confidencialidad. Además, se debe realizar una prueba piloto para comprobar su correcto funcionamiento y realizar posibles mejoras.

Otra herramienta utilizada para recoger información ha sido la entrevista. Gracias a este instrumento es posible recoger aspectos personales directamente del individuo bajo estudio, sobre todo en el caso de que esta sea abierta. Además, puede llegar a ser más eficaz que el cuestionario ya que la información que se obtiene del sujeto es más profunda [17]. Debido a la situación de confinamiento no es posible realizar las entrevistas de forma presencial, por lo que se llevan a cabo a través de "Google Meet".

De los tres tipos de entrevista (estructurada, semiestructurada y no estructurada), se escoge la entrevista semiestructurada para realizar esta investigación, ya que ofrece más flexibilidad que la estructurada y las preguntas pueden ajustarse a las personas bajo estudio. Esto permite la posibilidad de motivar al entrevistado, evitando ambigüedades y resolviendo posibles dudas. Además, la entrevista no estructurada tiene la desventaja de que puede generar falta de información necesaria para la investigación y los sujetos se pueden desviar en exceso del tema en cuestión.

Para dicho tipo de entrevista es importante seguir una serie de pautas [18]:

- Tener una guía con cuestiones agrupadas por temas.
- Escoger un espacio sin ruidos que dificulten la entrevista.
- Aclarar a la persona entrevistada el porqué de la misma.
- Recabar los datos personales necesarios para la investigación.

- Tener una actitud sensible y receptiva.
- Adaptar las preguntas y el orden al entrevistado según esté yendo la entrevista.
- No detener al entrevistado y dar libertad para que hable de otros temas.

3 Resultados y propuesta de mejora

A partir de los resultados obtenidos después de analizar los datos registrados se determina que la inmensa mayoría de los alumnos quieren que termine el confinamiento, sobre todo los de FP. Se puede ver que hay algún alumno de bachillerato que no quiere que termine el confinamiento, quizás al verse encerrado pueda tener mayor capacidad de concentración, mientras que la docencia impartida en FP es muy práctica y quizás no tiene mucho sentido impartir determinados contenidos de forma virtual.

En cuanto a las clases virtuales, los estudiantes de FP y bachillerato no están contentos con ellas, y a pesar de que hay alumnos de bachillerato a los que tampoco les gustan las clases presenciales, ambos grupos coinciden en que prefieren clases presenciales antes que clases virtuales. No obstante, a los alumnos de ESO sí que les gustan las clases virtuales y las prefieren antes que las presenciales. Sin embargo, hay alumnos de educación secundaria que afirman que sus clases virtuales son algo caóticas, pero no necesariamente por el hecho de realizarse online. Todo apunta a que a muchos de estos alumnos les gustaría tener clases virtuales siempre que estuviesen bien planteadas. Posiblemente estas clases virtuales no se estén llevando a cabo de forma correcta, ya que en los resultados obtenidos se observa que los profesores no tienen experiencia previa en docencia online. Por otro lado, todas las madres cuyos hijos cursan ESO, prefieren que sus hijos tengan clases presenciales antes que virtuales, mientras que hay madres, cuyos hijos cursan bachillerato, que prefieren las clases virtuales en lugar de las presenciales. Esto puede deberse a que los estudiantes de ESO son todavía bastante jóvenes e inmaduros para seguir la docencia online según la opinión de sus padres. En el caso de los alumnos de bachillerato, con alumnado que está preparando la selectividad, sus padres consideran que hay clases en las que no se dan correctamente los contenidos y que aprovechan mejor el tiempo en casa. Por último, los docentes tienen muy claro que prefieren las clases presenciales con una destacada mayoría del 95%.

Si se analizan los resultados relativos al estrés, se puede observar que los alumnos de FP y bachillerato están bastante estresados, especialmente estos últimos, quizás debido a la prueba de acceso a la universidad. No obstante, los alumnos de ESO no tienen la percepción de estar estresados. Una de las posibles causas puede ser que los alumnos de ESO consideran que las tareas académicas que deben realizar se adecuan a tiempo y contenidos, mientras que los alumnos de bachillerato y FP piensan lo contrario. Además, el estrés está muy relacionado con la motivación. De hecho, podemos ver que los alumnos de ESO están más motivados que los otros dos grupos. Las madres también piensan que los alumnos de bachillerato están más estresados que los de ESO. Hay profesores que se sienten más estresados que antes del confinamiento y otros que se sienten menos estresados. Esto puede deberse a que algunos profesores

no se estén preocupando demasiado por la docencia online, mientras que otros sí están haciendo un esfuerzo extra por adaptar la docencia.

De los resultados de las encuestas, la preferencia de las clases virtuales con la idea personal de que están aprendiendo mucho más durante el confinamiento se demuestra muy correlacionada. El grado de aprendizaje también está correlacionado con la motivación y el tiempo de deporte realizado semanalmente, afianzando el hecho de que el deporte está relacionado con el rendimiento académico. La motivación personal está relacionada con la motivación recibida por parte del profesor, siendo fundamental en la situación vivida por los alumnos. En el análisis de las correlaciones del cuestionario realizado a las madres, se observa que los alumnos que realizan deporte están más motivados. En cuanto a los docentes, se aprecia que el nivel de estrés de los profesores está altamente relacionado con el seguimiento individual que están realizando de sus alumnos y con el hecho de que echen de menos interactuar presencialmente con sus alumnos en clase. El fin del confinamiento está muy relacionado con el tiempo que dedican a la docencia y con querer dar clases presenciales. En todos los casos, el fin del confinamiento está relacionado con la preferencia de clases presenciales.

3.2 Propuesta de mejora

Una vez analizados los resultados obtenidos tras la realización de las diversas entrevistas y cuestionarios, se hace evidente que las clases virtuales no han tenido una organización eficiente. Por ello es necesario realizar una mejora para casos venideros.

Como primera medida, se sugiere que cada centro debe establecer una única plataforma virtual, ya que para los alumnos resulta muy confuso utilizar distintas plataformas, según los datos obtenidos.

Una vez elegida la plataforma, es necesario habituar a los alumnos, profesores y padres a su uso. Para ello se formarán a los docentes en la plataforma seleccionada. A continuación, los profesores deberán impartir una pequeña parte de cada unidad didáctica usando dicha plataforma. El centro educativo debe formar a los alumnos en el uso de dicha plataforma además de considerar la impartición de talleres para los padres.

Cuando comiencen las clases online, ya sea por causa de fuerza mayor o por decisión del centro, todos los profesores deberán impartir su docencia usando las plataformas anteriores. Además, tendrán que explicar los contenidos mediante vídeo llamadas con sus alumnos exclusivamente. Se recomienda la grabación de éstas para que los alumnos que no puedan asistir tengan la opción de seguirlas en diferido. Durante estas vídeo llamadas, los alumnos podrán plantear diferentes preguntas para que el profesor las resuelva. Se podrán mandar tareas para realizarlas en directo o a posteriori. El Gobierno Regional de cada Comunidad Autónoma, deberá tomar la decisión sobre el número de horas impartidas a la semana a través de vídeo llamadas, decidiendo si deben seguir con el horario de las clases presenciales o si deben impartir una clase semanal para cada asignatura. En el segundo caso, entre dos asignaturas consecutivas debe haber un margen de dos horas y cada una de ellas puede tener una duración máxima de una hora y media. Los treinta minutos sobrantes se dedicarán a las relaciones interpersonales en las que los alumnos podrán conversar entre ellos o con el profesor si

éste lo desea. A todo ello hay que añadir que los inspectores podrán acceder a dichas reuniones.

La evaluación virtual es compleja, ya que es difícil controlar la autoría de las tareas y exámenes. No obstante, es posible concertar reuniones virtuales con los estudiantes para hacer exámenes orales o realizar diversas preguntas sobre tareas y trabajos determinados y comprobar si se ha realizado o no plagio.

Por último, a comienzos del curso escolar se deben tener listas las programaciones y unidades didácticas presenciales y virtuales, como plan de contingencia ante un posible rebrote o algún posible evento inesperado.

4 Conclusiones

Este trabajo ha presentado una investigación sobre la percepción de las clases que se han realizado a distancia durante el confinamiento que ha sido originado por la pandemia de la COVID-19. La información ha sido recopilada mediante cuestionarios y el formato de entrevista por videoconferencia. El sentimiento de caos y estrés se ve reflejado en los resultados de dichos instrumentos de medida aunque hay que ser conscientes del estrés intrínseco de la situación. Tanto docentes como familias y parte del alumnado consideran que la docencia online no es satisfactoria y en este trabajo se sugieren algunas pautas que podrían mejorar la satisfacción.

Referencias

1. Borraz, M (20 de marzo de 2020). Así afecta a los niños el confinamiento: pautas para gestionar la cuarentena con hijos y no tirarte de los pelos. El diario. Recuperado de: https://www.eldiario.es/nidos/Confinamiento-ninos_0_1007549790.html
2. Mas, A. (14 de abril de 2020). La educación online no llega a todos los alumnos. La Vanguardia. Recuperado de: <https://www.lavanguardia.com/vida/formacion/20200414/48495012419/educacion-online-no-llega-todos-alumnos.html>
3. Torres, A. (15 de abril de 2020). El Gobierno acuerda con las autonomías que todos los alumnos pasen de curso, salvo casos muy excepcionales. El País. Recuperado de: <https://elpais.com/sociedad/2020-04-15/el-gobierno-acuerda-con-las-autonomias-el-aprobado-general-salvo-casos-muy-excepcionales.html>
4. Trujillo, F. T. & Fernández, M. (2020). Escenarios de evaluación en el contexto de la pandemia por la COVID-19: la opinión del profesorado.
5. Los niños españoles de 12 a 17 años pasan más horas al año en Internet que en el colegio, según un estudio. (22 de octubre de 2019). Europapress. Recuperado de: <https://www.europapress.es/sociedad/educacion-00468/noticia-ninos-espanoles-12-17-anos-pasan-mas-horas-ano-internet-colegio-estudio-20191022120544.html>
6. Comisión Ejecutiva General (2020). El sistema educativo en la crisis del COVID19. Frente de Estudiantes. Recuperado de: https://www.frentedeestudiantes.es/wp-content/uploads/2020/04/Informe_COVID19.pdf

7. Pérez-Bryan, A. (28 de marzo de 2020). Salud mental en niños y adolescentes: hasta dónde les afecta el encierro. *Diario Sur*. Recuperado de: <https://www.diariosur.es/malaga-capital/salud-mental-ninos-20200324105117-nt.html>
8. Forminaya, C. (27 de marzo de 2020). Adolescentes que no salen de su cuarto: doblemente aislados durante el confinamiento. *ABC*. Recuperado de: https://www.abc.es/familia/padres-hijos/abci-adolescentes-no-salen-cuarto-doblemente-aislados-durante-confinamiento-202003270217_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F
9. Suárez, A. (31 de marzo de 2020). Las clases a distancia durante el confinamiento: transición hacia una educación digital. *El diario*. Recuperado de: https://www.eldiario.es/canariasahora/nekuni/bits/confinamiento-transicion-educacion-digital_0_1011749382.html
10. López, P. L. (2004). Población muestra y muestreo. *Punto cero*, 9(08), 69-74
11. Plan de Centro I.E.S MARÍA ZAMBRANO (septiembre de 2018). I.E.S. María Zambrano. Recuperado de: https://www.iesmariazambrano.org/images/ultimas-noticias/Curso1819/Organizacion_y_Funcionamiento/PLAN-DE-CENTRO-18-19-def.pdf
12. Gutiérrez-Saldaña, P., Camacho-Calderón, N., & Martínez-Martínez, M. Lloret, D., Cabrera, V., & Sanz, Y. (2015). Relaciones entre hábitos de uso de videojuegos, control parental y rendimiento escolar. *European journal of investigation in Health, Psychology and education*, 3(3), 237-248.
13. Pelechano, V., de Miguel A., & Pastor, A. (2002). Datos de validación del cuestionario reducido de Locus de Control para Adolescentes (LUCAD-R3). *Análisis y modificación de conducta*, 28(122), 813-866.
14. Casas, J., Repullo, J. R. & Donado, J. (2003). La encuesta como técnica de investigación. *Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I)*. *Atención primaria*, 31(8), 527-538.
15. Morales, P. (2011). *Guía para construir cuestionarios y escalas de actitudes*. Universidad Pontificia de Comillas, España.
16. Ortiz, G. (2015). *La Encuesta-Diseño de cuestionario II, trabajo de campo y posibles sesgos. Técnicas de Investigación Cuantitativas y Cualitativas*.
17. Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M., & Varela-Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en educación médica*, 2(7), 162-167.

La Aritmética del Futuro: una Reflexión sobre los Planes de Estudio

Raul Murillo, Alberto A. Del Barrio, and Guillermo Botella

Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática,
Universidad Complutense de Madrid, España
{ramuri01,abarriog,gbotella}@ucm.es

Resumen. Con los nuevos planes de estudio, el número de horas dedicadas a la Aritmética de Computadores ha disminuido de forma notable. Sin embargo, con la explosión en la última década de las técnicas de Machine Learning y sobre todo las redes neuronales, nuevos formatos aritméticos han entrado en escena. En este trabajo hacemos un repaso de los más significativos, especialmente de los posits, introducidos en 2017 por John L. Gustafson como un reemplazo directo del punto flotante. Por tanto consideramos que en los futuros planes de estudio, la Aritmética de Computadores tiene que estar presente para garantizar que los nuevos ingenieros puedan trabajar exitosamente con estos nuevos formatos en aplicaciones críticas como las redes neuronales.

Palabras Clave: Aritmética de computadores · Posit · Punto flotante · Redes neuronales profundas.

Abstract. With the new study plans, the number of hours devoted to Computer Arithmetic have decreased. However, in the last decade, with the explosion of Machine Learning techniques and especially neural networks, new arithmetic formats have entered the scene. In this paper we review the most significant of these, especially the posits, introduced in 2017 by John L. Gustafson as a direct drop-in replacement for the floating point. We therefore consider that in future study plans, Computer Arithmetic has to be present to ensure that new engineers can successfully work with these new formats in essential applications as neural networks.

Keywords: Computer arithmetic · Posit · Floating-point · Deep neural networks.

1. Introducción

Históricamente la Aritmética de Computadores ha sido una rama esencial de la Informática en general y de la Arquitectura de Computadores en particular [1,2,3]. Con el auge de la Computación Aproximada y los Aceleradores Específicos de Dominio [4], la Aritmética está recobrando importancia. Especialmente,

la aparición de las redes neuronales profundas [5,6], aka *Deep Neural Networks* (DNNs), ha hecho que los investigadores reflexionen [7] sobre cuáles son los formatos más adecuados para entrenar y realizar la fase de inferencia en las DNNs. Además del IEEE 754 [8,9], han de notarse bfloat16 [10], el formato logarítmico [11,12] y los *posits* [7,13,14].

No obstante, en los actuales planes de estudio para los Grados de Informática [15,16,17,18] la importancia de la Aritmética de Computadores va en descenso. Es cierto que algunas universidades españolas han incorporado un Doble Grado en Informática y Matemáticas, pero la Aritmética desde el punto de vista computacional no se analiza con cierto nivel de detalle. La implantación de los nuevos grados de 4 años [19,20] ha obligado a fusionar asignaturas y reducir créditos, con la consecuente pérdida de contenido docente. Los contenidos estudiados quedan en su mayoría reducidos a Aritmética entera básica y a conceptos sencillos sobre el formato IEEE 754 de precisión simple (32-bits) [15,16,17,18]. Por ejemplo, en el campo de la Aritmética entera ya no se estudian multiplicadores con recodificación Booth o árboles de sumas con formato carry-save [1,2,21,22].

En este artículo planteamos una reflexión profunda respecto al estudio de la Aritmética de Computadores y evidenciamos que es un campo que está en auge y que requerirá que los nuevos graduados posean un conocimiento más profundo del mismo.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera: en la Sección 2 mostramos un estudio sobre la evolución del formato IEEE 754 a lo largo de los últimos años; en la Sección 3 mostramos nociones básicas sobre formatos alternativos para representar números reales en el escenario de las DNNs, prestando mayor atención a los *posits*; en la Sección 4 presentamos un caso de uso de aplicación de los *posits* y en la Sección 5 los correspondientes experimentos; finalmente en la Sección 6 mostramos las conclusiones del artículo.

2. Estado del Arte

Desde 1985 [8], el IEEE 754 se convirtió en el estándar para operaciones con números reales dentro de un computador. Desde entonces ha sufrido varias revisiones a lo largo de las últimas décadas, incluyendo en la última el estándar Half Precision, aka 16-bits, fundamentalmente debido a la demanda de las aplicaciones de Machine Learning (ML) y, en concreto, las redes neuronales profundas DNNs.

No obstante, el IEEE 754 presenta ciertos problemas inherentes a su construcción, y de los cuales muchos estudiantes no son conocedores. Entre otros, podemos citar los siguientes:

- El resultado de operaciones en punto flotante puede variar de un computador a otro. El modo de redondeo no es el mismo en todas las plataformas.
- La existencia de patrones para expresar excepciones, aka *Not a Number* (NaN).
- La existencia del doble cero ($+0$ y -0) y del doble infinito ($+\infty$ y $-\infty$).

- Cada operación se redondea individualmente, por lo que la propiedad asociativa no se mantiene.

Con el objetivo de eliminar los problemas inherentes al formato IEEE 754, John L. Gustafson propuso en 2017 [13,14] el formato de números universales versión 3, también conocido como *unum-v3* o *posit*. Además de eliminar los problemas anteriormente mencionados, los posits presentan otras ventajas, entre otras:

- Un mayor rango dinámico que punto flotante.
- Precisión cónica, por lo que son más precisos en el entorno de cero que punto flotante. Por ello, los posits son muy interesantes en DNNs [23,24,25,26,27], ya que los pesos suelen seguir una distribución gaussiana.
- La comparación entre posits se realiza como la comparación de enteros, lo cual es una gran ventaja frente a punto flotante.
- Aproximaciones rápidas de funciones no elementales, como por ejemplo el sigmoide [14].

Los posits se han presentado por tanto como un sustituto directo del punto flotante. Pese a que no son estándar por el momento, las grandes compañías como Facebook [7] IBM, Google, Intel, etc. [28] están comenzando a evaluarlo y con resultados prometedores, como apunta el ingeniero de Facebook J. Johnson [7]. Por tanto, es muy posible que en los próximos años los posits continúen aumentando su popularidad y tal vez terminen estandarizándose. De hecho, gracias a la ISA abierta RISC-V ya existen algunos cores con soporte hardware para posits [29,30].

3. Formatos Alternativos para el entrenamiento de DNNs

En esta sección vamos a comentar algunos de los formatos más utilizados en DNNs, ahora mismo una de las aplicaciones estrella dentro del ML. En concreto, nos centraremos en la fase de entrenamiento, que es la más pesada computacionalmente.

Aunque es cierto que hay muchas arquitecturas y modelos de red disponibles públicamente, también es cierto que éstas suelen utilizarse de base para realizar transfer-learning [5,7], es decir, el entrenamiento parte de unos pesos conocidos, ej. generados para ImageNet, y se recalculan para la nueva aplicación objetivo. Por tanto, es muy posible que los nuevos graduados tengan que desarrollar DNNs para aplicaciones concretas, ej. reconocimiento de células tumorales, y que, por los motivos anteriormente mencionados, los tipos de datos no sean IEEE 754 de 32-bits. En concreto, en esta sección introduciremos los formatos IEEE 754 de 16-bits, brain floating point y posit.

3.1. IEEE 754: Single y Half Precision

Tal y como comentan Hennessy y Patterson [4], el entrenamiento de DNNs típicamente se ha realizado con punto flotante de 32-bits (Single Precision),

aunque en los últimos años se ha empezado a utilizar el nuevo estándar de 16-bits (Half Precision).

El formato de representación en punto flotante se asemeja bastante a la notación científica tradicional, pues consta de tres partes: un signo S , un exponente E en una base dada β (que normalmente es 2 por tratarse de un formato binario, aunque existen otros sistemas como el de punto flotante decimal [31] que utiliza base 10) y una parte significativa o mantisa M . De esta forma, el valor de un número en punto flotante F se calcula mediante la Ecuación (1).

$$F = (-1)^S \times \beta^E \times M . \quad (1)$$

El estándar del IEEE para aritmética en punto flotante (IEEE 754) establecido en 1985 [8] define los formatos aritméticos y de intercambio, las reglas de redondeo, las operaciones y el manejo de excepciones para aritmética de punto flotante binaria, y está implementado en la gran mayoría de computadores modernos. En particular, el estándar IEEE 754 define los formatos de Single Precision y Half Precision según la codificación que se muestra en la Figura 1. Cabe destacar que el estándar añade un sesgo o *bias* al exponente con el fin de representar números reales tanto muy grandes como muy pequeños, de forma que se toma el exponente $e = E - bias$. Además, al valor que codifica la mantisa se le añade un bit oculto, que toma el valor 1 para los números normales y el valor 0 para los números desnormalizados, empleados para evitar el subdesbordamiento (*underflow*) en las proximidades del cero [8].

S	Exponente E	Mantisa M
32 bits: 1 bit	8 bits, bias = 127	23 bits
16 bits: 1 bit	5 bits, bias = 15	10 bits

Figura 1: Codificación de números en punto flotante según el estándar IEEE 754.

3.2. bfloat16

Este formato, también conocido como Brain Floating Point, se trata una versión truncada (con 16-bits) del formato de punto flotante de 32-bits del IEEE 754, como se muestra en la Figura 2. Al conservar 8 bits para el exponente, el formato mantiene aproximadamente el mismo rango dinámico que el formato de 32-bits, a cambio de reducir la precisión al emplear menos bits para la fracción.

S	Exponente E	Mantisa M
16 bits: 1 bit	8 bits, bias = 127	7 bits

Figura 2: Codificación de números en punto flotante en formato bfloat16.

Al contrario que los números en punto flotante de 32-bits, los números bfloat16 no son adecuados para realizar cálculos con números enteros debido al truncamiento de bits. No obstante, no es ese su propósito, sino que este formato se emplea para reducir el almacenamiento y aumentar la velocidad de los cómputos en tareas de ML. A pesar de ello, este formato hereda todos los problemas inherentes del IEEE 754.

3.3. Posits

En el año 2017 John L. Gustafson presentó el tipo de datos posit (también conocido como *unum Tipo III*) como una alternativa frente al para IEEE 754 para números de punto flotante [13]. Desde entonces, el uso de los posits ha sido explorado en una gran variedad de áreas, y en especial en aplicaciones de aprendizaje automático [7,23,24,25,27].

El formato posit, que se codifica según se muestra en la Figura 3 consta de los siguientes campos: signo régimen (en inglés, *regime*), exponente y fracción.

- **Signo.** Al igual que para números en punto flotante o enteros con signo, el primer bit indica el signo: 0 para números positivos, 1 para números negativos. En el caso negativo, se debe tomar el complemento a 2 de los bits restantes para extraer los siguientes campos correctamente.
- **Régimen.** Este campo es exclusivo de este formato numérico. El régimen codifica el valor k del factor de escalado del número. Este valor está determinado por el número de bits idénticos (indicados por r en la Figura 3), cuya secuencia termina con el valor negado (\bar{r}), si es que existe. Sea m el número de bits idénticos del régimen; si este campo consta de 0's a la izquierda, entonces $k = -m$; si por el contrario se trata de una secuencia de 1's, entonces $k = m - 1$. Por ejemplo, si el régimen tiene 4 bits de ancho, el valor 1110 se interpretaría como $k = 2$, mientras que el valor 0001 sería $k = -3$. Por lo tanto, detectar el número de 1's o 0's a la izquierda es fundamental para realizar este paso. Sin embargo, la principal dificultad para detectar el régimen y, en consecuencia, decodificar el posit, es que su longitud varía dinámicamente. De forma analítica, el valor de k viene dado por la Ecuación (2). Nótese que este campo es de longitud variable, lo que hace posible que los campos siguientes puedan no estar presentes en determinados números, en cuyo caso se les asignará el valor 0.

$$k = -x_{n-2} + \sum_{i=n-2}^{x_i \neq x_{n-2}} (-1)^{1-x_i} \quad (2)$$

- **Exponente.** Los bits de exponente (indicados en azul) codifican el valor e , empleado para el factor de escalado 2^e . A diferencia de los números en punto flotante, los posits carecen de sesgo o bias. Como la longitud del régimen es variable, puede haber hasta e s bits de exponente, ya que el primer bit de este campo se ubica directamente después del campo de régimen (por lo que existe la posibilidad de que no haya bits de exponente). Además, al contrario que en

- Los posits no desbordan, ni con valores muy grandes (*overflow*) ni con valores cercanos a cero (*underflow*). A pesar de no tener un desbordamiento gradual como los números en punto flotante, los posits poseen lo que se conoce como precisión cónica.
- Operaciones fusionadas. Aunque la primera revisión del estándar IEEE [31] incluyó este tipo de operaciones, como la *multiply-accumulate* en la que se efectúa una multiplicación que se suma a un acumulador con un único redondeo en el proceso, en el caso de los posits para estas operaciones se define también un registro de mayor tamaño que sirve de acumulador (de forma que se evitan los redondeos intermedios) denominado *quire*.
- Bajo ciertas configuraciones (especialmente cuando $es = 0$), los posits permiten realizar aproximaciones rápidas (realizadas a nivel de bit, sin necesidad de decodificar todo el número) de funciones elementales pero complejas, como el recíproco, y de funciones no elementales, como la sigmoide o la tangente hiperbólica (estas últimas son muy utilizadas en el área de la DNNs) [32].

Inconvenientes del formato posit. Aunque hasta el momento se han presentado múltiples ventajas del formato posit, existe una serie de desventajas con respecto a otros formatos tradicionales de aritmética decimal como los de punto flotante y de punto fijo.

El principal problema que se asocia con este formato es la longitud variable del campo del régimen. Dado que no posee una longitud fija, como sí la tiene el exponente en el formato de punto flotante, no es posible decodificar paralelamente los campos de un número posit, como sí ocurre con el formato del IEEE 754. Esto supone un cierto sobre-coste, desde el punto de vista del diseño de operadores. No obstante, los defensores de este formato aseguran que el hecho de que posits con menor número de bits posean la misma precisión que números de punto flotante compensa este inconveniente [33].

Por otro lado, existen situaciones y problemas determinados, en áreas como la simulación de física de partículas en las que los posits ofrecen peores resultados que los números en punto flotante, principalmente debido al error cometido en el valor de constantes físicas del sistema internacional [34].

Finalmente, el coste de desarrollo de hardware para el formato posit, junto con la ausencia de herramientas suficientes, como compiladores, ralentizan la investigación y los avances en este novedoso formato, y hacen que sea difícil evaluar el progreso de los posits.

4. Posits y DNN: Deep PeNSieve

Deep PeNSieve [27] es un framework de código abierto¹ para realizar el entrenamiento y la inferencia de DNNs enteramente con posits, sin convertir de y a punto flotante. Como se aprecia en la Figura 4, durante el entrenamiento de la red (que puede incluir diferentes capas, incluidas convolucionales), el framework realiza todos los cálculos en formato posit.

¹ <https://github.com/RaulMurillo/deep-pensieve>

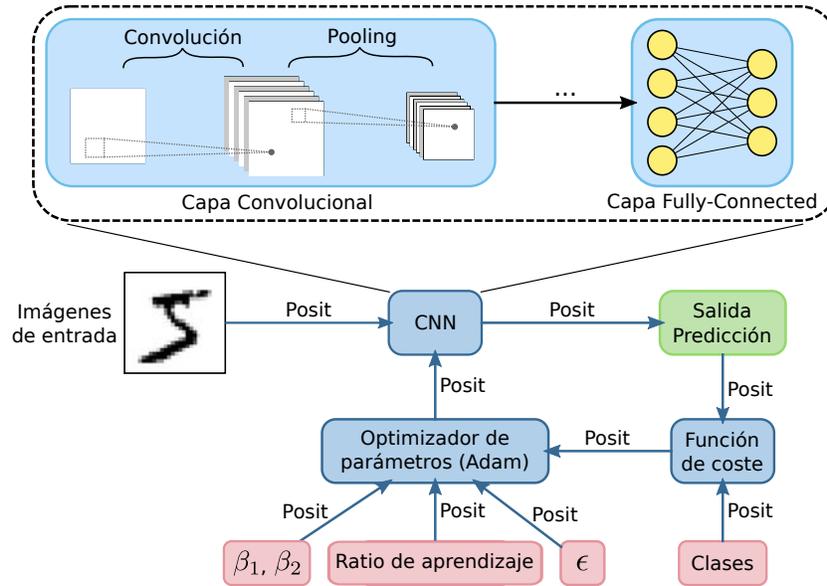


Figura 4: Flujo de entrenamiento de DNNs con Deep PeNSieve. Las cajas rojas representan los datos de entrada, mientras que las azules corresponden con las operaciones implementadas por TensorFlow.

Por otro lado, una vez se ha entrenado la red en el formato deseado, Deep PeNSieve permite realizar inferencia cuantificando los pesos internos a un formato de menor precisión. En particular, para el caso de Posit(8, 0) permite realizar las multiplicaciones matriciales (que son la principal operación en las redes neuronales) como un producto escalar fusionado, utilizando un registro acumulador que requiere de 32 bits para evitar que la precisión de la red se degrade demasiado al emplear tan sólo 8 bits.

5. Experimentos

Para comprobar el desempeño del formato posit en comparación con el de punto flotante, utilizamos dos datasets clásicos: MNIST, con la arquitectura LeNet-5 [5], y CIFAR-10 [35] con la arquitectura CifarNet [27].

Para el entrenamiento se han comparado Posit(32, 2) y Posit(16, 1) con el formato IEEE 754 de precisión simple. Los resultados de la fase de entrenamiento, tras 30 iteraciones, se muestran en la Tabla 1. Los formatos posit muestran resultados similares a los obtenidos con punto flotante, e incluso en el caso de CIFAR-10 el formato Posit(16, 1) incrementa la precisión de la red en un 4%.

Con respecto a los resultados de inferencia con baja precisión, en la Tabla 2 se muestran los valores obtenidos tras cuantificar las anteriores redes neuronales de 32 bits con 16 y 8 bits. Cabe destacar que con estas cuantificaciones se obtienen

Tabla 1: Resultados tras la fase de entrenamiento de las CNN.

Formato	MNIST		CIFAR-10	
	Top-1	Top-5	Top-1	Top-5
Float 32	99.17 %	100 %	68.06 %	95.15 %
Posit $\langle 32, 2 \rangle$	99.09 %	99.98 %	69.32 %	96.59 %
Posit $\langle 16, 1 \rangle$	99.18 %	100 %	72.51 %	97.40 %

reducciones en el tamaño de los datos de $1/4$ y $1/2$, respectivamente, con respecto a los modelos originales. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que el uso de operaciones fusionadas con quire hace posible la inferencia en redes neuronales con posits de 8-bits sin reducir excesivamente la precisión de la red, de igual forma que con técnicas usuales de cuantización en punto flotante de 16-bits o enteros de 8-bits, pero con menos recursos que el primer formato y con menos limitaciones que el segundo.

Tabla 2: Resultados de inferencia tras cuantificar las CNNs a formatos de baja precisión.

Formato	MNIST		CIFAR-10	
	Top-1	Top-5	Top-1	Top-5
Float 16	99.17 %	100 %	68.05 %	96.15 %
INT8	99.16 %	100 %	68.15 %	96.14 %
Posit $\langle 8, 0 \rangle$	98.77 %	99.99 %	43.89 %	86.49 %
Posit $\langle 8, 0 \rangle_{\text{quire}}$	99.07 %	99.99 %	68.88 %	96.47 %

A la vista de los resultados, uno podría preguntarse si no sería más conveniente trabajar en adelante con el formato posit, al menos en el campo del ML. Sin embargo, uno de los principales problemas de este formato es que aún no existen diseños de unidades que sean competitivos con respecto al punto flotante. Para mostrar esto, se ha tomado el diseño de un sumador en formato posit de libre acceso [26] y se ha sintetizado con la herramienta Synopsys Design Compiler (utilizando una biblioteca de 65 nm) para obtener datos del área, potencia y retardo requeridos por una unidad de este tipo. Los resultados, para distintas configuraciones de bits y de longitud de exponente, y en comparación con las análogas unidades en punto flotante IEEE 754, se muestran en la Figura 5. Como se puede apreciar, un sumador posit de n -bits requiere de, aproximadamente, la misma cantidad de recursos que el sumador de punto flotante para $2n$ -bits. Es por ello que aún queda margen de mejora y trabajo por realizar en este campo.

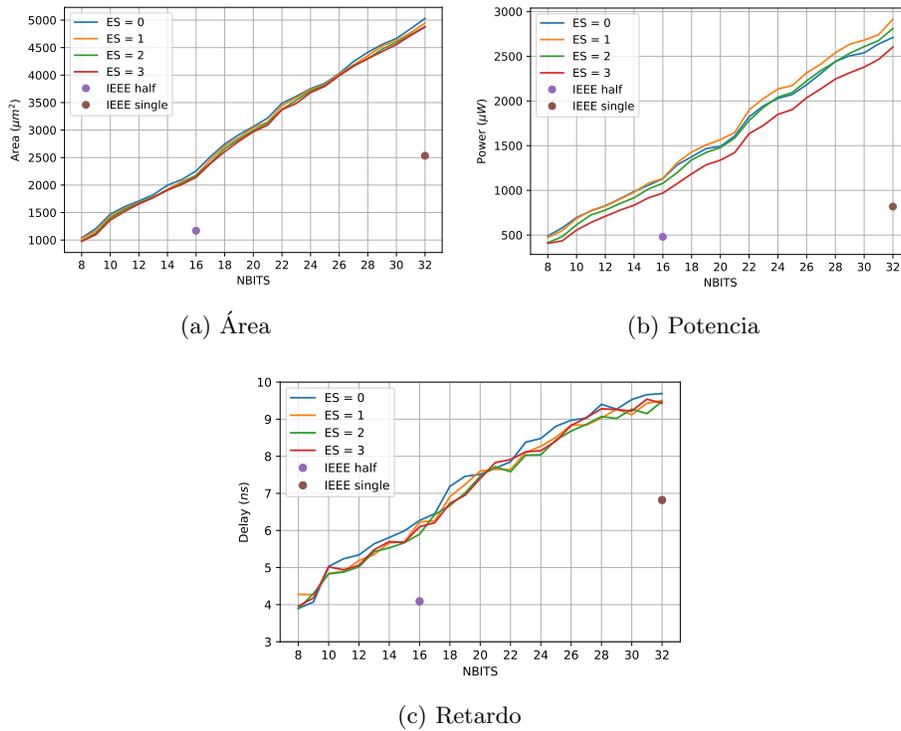


Figura 5: Resultados de síntesis respecto al área, potencia y retardo de un sumador posit para distintas configuraciones (n, es) .

6. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado un breve resumen del panorama actual en Aritmética para DNNs, fundamentalmente en la etapa de entrenamiento. Como puede observarse, con el nacimiento de nuevos formatos diferentes a IEEE 754, especialmente los posits, la Aritmética de Computadores está retomando su importancia.

Es por ello que consideramos esencial que los futuros planes de estudio amplíen el contenido relativo a ésta, ya que los nuevos graduados en Informática y derivados tendrán que trabajar muy posiblemente con aplicaciones basadas en DNNs, y muy posiblemente el IEEE 754 no sea el formato utilizado. Por tanto, para comprender el comportamiento de estas aplicaciones será fundamental comprender la Aritmética sobre la que se basan.

A modo de ejemplo, hemos presentado Deep PeNSieve, un framework de entrenamiento de DNNs con posits. Ahora mismo todas las operaciones son emuladas, pero la presencia cada vez mayor de la ISA RISC-V posibilitará en un futuro no muy lejano disponer de cores lógicos sobre los que ejecutar este tipo de aplicaciones de manera nativa y reducir así el tiempo de ejecución.

Referencias

1. Ercegovac, M.D., Lang, T.: Digital arithmetic. Elsevier, 1st edn. (2004)
2. Koren, I.: Computer Arithmetic Algorithms. A. K. Peters, Ltd., USA, 2nd edn. (2002)
3. Hennessy, J.L., Patterson, D.A.: Computer architecture: a quantitative approach. Morgan Kaufmann, 5th edn. (2011)
4. Hennessy, J.L., Patterson, D.A.: A new golden age for computer architecture. Communications of the ACM **62**(2), 48–60 (2019)
5. LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., Haffner, P.: Gradient-based learning applied to document recognition. Proceedings of the IEEE **86**(11), 2278–2324 (1998). <https://doi.org/10.1109/5.726791>
6. Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G.E.: Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In: Advances in Neural Information Processing Systems 25. pp. 1097–1105 (2012)
7. Johnson, J.: Rethinking floating point for deep learning. ArXiv [abs/1811.01721](https://arxiv.org/abs/1811.01721) (2018)
8. IEEE standard for binary floating-point arithmetic. ANSI/IEEE Std 754-1985 pp. 1–20 (Oct 1985). <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.1985.82928>
9. Del Barrio, A.A., Bagherzadeh, N., Hermida, R.: Ultra-low-power adder stage design for exascale floating point units. ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS) **13**(3s), 1–24 (2014)
10. Kalamkar, D.D., Mudigere, D., Mellempudi, N., Das, D., Banerjee, K., Avancha, S., Vooturi, D.T., Jammalamadaka, N., Huang, J., Yuen, H., Yang, J., Park, J., Heinecke, A., Georganas, E., Srinivasan, S., Kundu, A., Smelyanskiy, M., Kaul, B., Dubey, P.: A study of bfloat16 for deep learning training. ArXiv [abs/1905.12322](https://arxiv.org/abs/1905.12322) (2019)
11. Kim, M.S., Del Barrio, A.A., Oliveira, L.T., Hermida, R., Bagherzadeh, N.: Efficient mitchell’s approximate log multipliers for convolutional neural networks. IEEE Transactions on Computers **68**(5), 660–675 (2018)
12. Kim, H., Kim, M.S., Del Barrio, A.A., Bagherzadeh, N.: A cost-efficient iterative truncated logarithmic multiplication for convolutional neural networks. In: 2019 IEEE 26th Symposium on Computer Arithmetic (ARITH). pp. 108–111. IEEE (2019)
13. Gustafson, J.L., Yonemoto, I.T.: Beating floating point at its own game: Posit arithmetic. Supercomputing Frontiers and Innovations **4**(2), 71–86 (2017)
14. Posit arithmetic. <https://posithub.org/docs/Posits4.pdf>, [Online; último acceso 01-06-2020]
15. Planes de estudio de los grados en informática (UCM). <https://informatica.ucm.es/grado>, [Online; último acceso 03-06-2020]
16. Planes de estudio de los grados en informática (UPM). <https://www.fi.upm.es/>, [Online; último acceso 03-06-2020]
17. Planes de estudio de los grados en informática (UPC). <https://www.upc.edu/es/grados/ingenieria-informatica-barcelona-fib>, [Online; último acceso 03-06-2020]
18. Planes de estudio de los grados en informática (UGR). <https://grados.ugr.es/informatica/>, [Online; último acceso 03-06-2020]
19. Reinalda, B., Kulesza, E.: The Bologna Process—Harmonizing Europe’s Higher Education: Including the Essential Original Texts. Verlag Barbara Budrich (2006)
20. Del Barrio, A.A., Manzano, J.P., Maroto, V.M., Villarín, Á., Pagán, J., Zapater, M., Ayala, J., Hermida, R.: HackRF+ GNU Radio: A software-defined radio to

- teach communication theory. *The International Journal of Electrical Engineering & Education* pp. 1–18 (2019)
21. Del Barrio, A.A., Hermida, R., Ogrenci-Memik, S.: A combined arithmetic-high-level synthesis solution to deploy partial carry-save radix-8 booth multipliers in datapaths. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers* **66**(2), 742–755 (2019)
 22. Del Barrio, A.A., Hermida, R., Memik, S.O.: A partial carry-save on-the-fly correction multispeculative multiplier. *IEEE Transactions on Computers* **65**(11), 3251–3264 (2016)
 23. Carmichael, Z., Langroudi, H.F., Khazanov, C., Lillie, J., Gustafson, J.L., Kudithipudi, D.: Deep positron: A deep neural network using the posit number system. In: 2019 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE). pp. 1421–1426. IEEE (2019)
 24. Murillo, R., Barrio, A.A.D., Juan, G.B.: Template-based posit multiplication for training and inferring in neural networks. ArXiv [abs/1907.04091](https://arxiv.org/abs/1907.04091) (2019)
 25. Langroudi, H.F., Carmichael, Z., Kudithipudi, D.: Deep learning training on the edge with low-precision posits. ArXiv [abs/1907.13216](https://arxiv.org/abs/1907.13216) (2019)
 26. Murillo, R., Del Barrio, A.A., Botella, G.: Customized posit adders and multipliers using the flopoco core generator. In: 2020 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) (2020)
 27. Murillo, R., Del Barrio, A.A., Botella, G.: Deep pensieve: A deep learning framework based on the posit number system. *Digital Signal Processing* p. 102762 (2020)
 28. New approach could sink floating-point computation. <https://www.nextplatform.com/2019/07/08/new-approach-could-sink-floating-point-computation/>, [Online; último acceso 03-06-2020]
 29. Tiwari, S., Gala, N., Rebeiro, C., Kamakoti, V.: Peri: A posit enabled RISC-V core. ArXiv [abs/1908.01466](https://arxiv.org/abs/1908.01466) (2019)
 30. Arunkumar, M., Bhairathi, S.G., Hayatnagarkar, H.G.: Perc: Posit enhanced rocket chip. In: Fourth Workshop on Computer Architecture Research with RISC-V at International Symposium on Computer Architecture (ISCA) (2020)
 31. IEEE standard for floating-point arithmetic. *IEEE Std 754-2008* pp. 1–70 (Aug 2008). <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2008.4610935>
 32. Cococcioni, M., Rossi, F., Ruffaldi, E., Saponara, S.: Fast approximations of activation functions in deep neural networks when using posit arithmetic. *Sensors* **20**(5), 1515 (2020)
 33. Uguen, Y., Forget, L., de Dinechin, F.: Evaluating the hardware cost of the posit number system. In: 2019 29th International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL). pp. 106–113. IEEE (2019)
 34. De Dinechin, F., Forget, L., Muller, J.M., Uguen, Y.: Posits: the good, the bad and the ugly. In: Proceedings of the Conference for Next Generation Arithmetic 2019. pp. 1–10 (2019)
 35. Krizhevsky, A.: Learning multiple layers of features from tiny images. Master's thesis, University of Toronto, Canada (2009)

Análisis del uso de asistentes virtuales en el aula como recurso complementario en la práctica docente

María del Sol Pérez¹, Claudia Villalonga², Alberto Guillén¹, Oresti Baños¹

¹ Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores, Universidad de Granada
Granada, España

{aguillen, oresti}@ugr.es

² Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología, Universidad Internacional de La Rioja
Logroño, España

Claudia.villalonga@unir.net

Resumen. Actualmente el profesorado dispone de múltiples recursos para impartir su docencia e intentar hacer sus clases más atractivas. No obstante, el simple hecho de introducir las TIC en la docencia no es condición suficiente para la mejora de la práctica docente, por lo que es necesario evaluar su impacto y beneficios. El principal objetivo del presente trabajo es investigar la eficacia de las respuestas generadas por los asistentes virtuales con voz, como Google Nest o Amazon Echo, utilizados como material de apoyo para el docente en la asignatura de Tecnología en la Educación Secundaria Obligatoria. La investigación se ha llevado a cabo con alumnado real. Se ha comprobado que el uso de los asistentes virtuales con voz para la resolución de dudas dentro de la materia de Tecnología es limitado, ya que dichos asistentes no han sido capaces de responder todas las consultas planteadas por el alumnado. Además se constata que la validez y precisión en las respuestas proporcionadas también son limitadas. La percepción del alumnado en cuanto a la utilidad de estos asistentes para resolver sus dudas es bastante homogénea, y si bien se considera positiva, en múltiples casos las respuestas recibidas no han resultado suficientemente aclaratorias.

Palabras Clave: Asistente virtual, Tecnología, Google Nest, Amazon Echo.

Abstract. Currently, teachers have multiple resources to teach and try to make their classes more attractive. However, introducing ICT in teaching is not enough for the improvement of teaching practice, thus making it necessary to evaluate its impact and benefits. The main objective of this work is to investigate on the effectiveness of responses generated by virtual assistants with voice (smart speakers) as Google Nest or Amazon Echo, which are used as support material for teachers in the Technology course in High School. This research has found that the use of smart speakers for answering questions within the scope of the Technology course is limited, since these assistants have not been able to answer all the questions raised by students. In addition, it is noted that the validity and accuracy of the answers provided is also limited. The students' perception of the usefulness of these assistants to solve their doubts is quite homogeneous, and although it is considered positive, in many cases the answers received have not been sufficiently clarifying.

Keywords: Virtual Assistant, Technology, Google Nest, Amazon Echo.

1 Introducción

En la actualidad, las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) se encuentran presentes en múltiples entornos de la vida diaria de una persona, pudiendo encontrarse en el trabajo, en el hogar, en el colegio e incluso en el propio vehículo. La fuerte presencia de las TIC en nuestras vidas, unido a su desarrollo y su evolución, ha originado la adaptación progresiva del ser humano a un mundo totalmente digitalizado. Por este motivo, los centros educativos se encuentran ante un gran desafío, ya que resulta necesario introducir la utilización de las TIC dentro del sistema de enseñanza. A pesar de la dificultad que supone este reto, la introducción de las TIC en el aula, en casa y como parte del diseño curricular tiene una gran relevancia dentro del ámbito educativo.

La integración de las TIC en la actividad docente desarrollada hoy en día, supone un derecho para el alumnado ya que se ha convertido en una demanda social, una necesidad para el profesorado y una obligación para la administración educativa. Cabe destacar que la utilización de las TIC en la enseñanza, favorece y ayuda al alumnado en su aprendizaje, aumenta su interés y creatividad, contribuye al crecimiento de su motivación, potencia el trabajo en equipo, mejora la capacidad de solventar problemas, fortalece su autoestima y permite un mayor aumento en la autonomía en cuanto al aprendizaje se refiere [1].

Una rama de las TIC que está en pleno apogeo es la inteligencia artificial. Para que una máquina adquiera habilidades humanas lo primero que hay que otorgarle es una voz, además de la capacidad de poder hablar. Es aquí donde investigadores y empresas como Amazon, Google o Microsoft tienen un papel muy importante, ya que después de muchos esfuerzos y arduo trabajo han conseguido que los humanos puedan interactuar con una máquina como si de otro humano se tratase. Estas máquinas son conocidas como asistentes virtuales con voz y están al alcance de cualquiera ya que su coste no es muy elevado. Los asistentes virtuales con voz tienen múltiples funcionalidades que se activan a través de órdenes con la voz, de forma que el usuario del asistente solo tiene que pedir lo que necesite mediante el habla. Entre las diversas funcionalidades de las que dispone es conveniente destacar la de programar citas en el calendario o fijar alarmas, reproducir música, realizar compras, controlar la domótica de las viviendas, así como resolver dudas y aportar información [2].

La capacidad del asistente virtual con voz para resolver dudas y aportar información en el aula, como apoyo del profesorado al impartir la clase, es el objeto de esta investigación. Puesto que el número de alumnos dentro del aula es muy elevado, el uso de dichos asistentes facilita la labor del profesor, ya que no siempre puede estar disponible para resolver las dudas de todos. Otra ventaja que tiene el uso de estos asistentes es que cualquier pregunta planteada por el alumnado, por ingeniosa que sea, siempre va a tener una respuesta. Además, el hecho de que el alumnado tenga la tranquilidad de no tener que preguntarle directamente al profesor por miedo al ridículo y poder resolver la duda con el asistente virtual, hace que se incentive la participación de todos, además de resolver un gran número de dudas y favorecer el aprendizaje. El fin último es por tanto que el profesorado pueda contar con la ayuda de un asistente virtual con voz que se ponga a disposición del alumnado durante las sesiones didácticas.

2 Materiales

Para poder llevar a cabo el estudio se analizan los diferentes asistentes virtuales disponibles en el mercado. Los ejemplos más destacados son Alexa de Amazon, Google Assistant, Cortana de Microsoft, DuerOS de Baidu, Siri de Apple, Bixby de Samsung y Watson [2]. De entre todos ellos, debido a su gran popularidad y gran adquisición por parte de los consumidores, en este trabajo se decide usar Alexa y Google Assistant.

El asistente virtual Alexa está disponible en todos los altavoces inteligentes de Amazon. El primero de estos altavoces se dio a conocer con el nombre de Amazon Echo o directamente Echo. Este altavoz estaba integrado por el asistente virtual Alexa. Dicho dispositivo salió por primera vez a la venta en noviembre de 2014, pero su comercialización se limitó a ciertos usuarios con cuentas Amazon Prime. Algo más tarde, en el año 2015 salió a la venta en Estados Unidos para el público en general [3]. Un año después surgió el modelo Echo Dot, siendo la versión de Echo con el tamaño más pequeño. El Echo Dot (3ª generación), el cual se usa en este estudio, se puso a la venta en España el 16 de octubre de 2019. Este dispositivo está a la venta con y sin reloj. El coste que tiene la versión sin reloj es de 59,99 € y de 69,99 € la versión con reloj.

Para poner en funcionamiento este dispositivo se necesita una toma de corriente y una red de datos WiFi. Si es la primera vez que se va a poner en marcha dicho dispositivo, los pasos a seguir son los siguientes. Primero hay que descargar la última versión de la app Amazon Alexa. Después, es necesario conectar el Echo Dot usando el adaptador de corriente a un enchufe. El círculo de luz situado alrededor de la parte superior se iluminará de color azul, y al cabo de un minuto Alexa saludará y dará las siguientes pautas para llevar a cabo la instalación del asistente desde la app. Una vez configurado el dispositivo, para empezar a usarlo tan solo hay que decir la palabra "Alexa", y a partir de aquí el aparato se activa poniéndose en modo escucha para recibir la siguiente orden. Una vez recibida la orden, el dispositivo reconoce la pregunta y facilita una respuesta adecuada a la pregunta. En el caso de no tener una respuesta para la pregunta propuesta, el dispositivo lo indicará.

Hay dos elementos fundamentales de los que dependen las funciones de Alexa:

- Comandos de voz: estos comandos están integrados por defecto en el dispositivo y gracias a ellos se les puede hacer diversas peticiones.
- Skills: son unos complementos adicionales que pueden instalarse para incorporar más funcionalidades al dispositivo.

A través de los comandos de voz se le pueden hacer a Alexa una gran variedad de peticiones como por ejemplo solicitarle datos meteorológicos, pedirle información sobre diferentes temas o realizar una búsqueda sobre algunas cuestiones sobre un determinado producto o persona. El dispositivo, a través de los comandos, también ofrece la opción de pedirle la configuración de alarmas, iniciar cronómetros, programar recordatorios y preguntarle qué día es. Otra opción que incorpora Alexa es la posibilidad de hacer compras a través de la voz en Amazon y saber en qué estado se encuentra el pedido realizado.

Por otro lado, las skills son aplicaciones específicamente creadas para Alexa pero diseñadas por terceros. Con las skills las funcionalidades del dispositivo aumentan, ya que con ellas se añaden más comandos de voz además de otras fuentes de consulta. A nivel mundial hay disponibles más de 25.000 skills, aunque de estas una minoría tienen como idioma el español.

El asistente virtual Google Assistant está disponible en los altavoces inteligentes de Google. El primero modelo de altavoz de esta marca fue el Google Home y se puso a la venta en 2016. La versión Google Home Mini salió a la venta en el año 2017 para competir con el Echo Dot ya que sus características, tamaño y precio eran muy similares. En este estudio se hace uso del altavoz Google Nest Mini, puesto a la venta en España el 22 de octubre de 2019 y cuyo precio es 59 €.

Para poner en funcionamiento este dispositivo se necesita una toma de corriente y una red de datos WiFi. Si es la primera vez que se va a poner en marcha dicho dispositivo, los pasos a seguir son los siguientes. Primero se debe conectar el adaptador de corriente al Google Nest Mini. Después, hay que descargar la aplicación Google Home y a continuación seguir los pasos que aparecen en la pantalla del dispositivo para terminar la configuración. Una vez configurado el dispositivo, para empezar a usarlo tan solo hay que decir la palabra "Ok Google" y a partir de aquí el aparato se activa poniéndose en modo escucha para recibir la siguiente orden. Una vez recibida la orden, el dispositivo reconoce la petición y facilita una respuesta para la misma. En el caso de no tener una respuesta para la pregunta realizada el dispositivo se lo indicará al usuario.

Google Assistant permite que se pueda tener con dicho asistente una conversación usando un lenguaje natural. Se le puede pedir chistes, que lea poemas, cante canciones, etc., con el fin de entretener al usuario. Con este asistente virtual también es posible controlar mediante la voz dispositivos domóticos del hogar como pueden ser luces, persianas, termostatos, etc. Algunas de las funciones básicas que puede realizar este asistente son la búsqueda de información, la localización de alojamientos o restaurantes, informar de resultados deportivos, gestionar el calendario o realizar operaciones matemáticas entre otras opciones [4].

3 Métodos

En el presente estudio es necesario llevar a cabo un proceso de implantación de los asistentes virtuales con voz en el aula, lo que nos permitirá valorar la eficacia en la implantación de los mismos en el ámbito educativo. Se decide, de conformidad con el profesorado participante en el estudio, la utilización de los asistentes virtuales Echo Dot y Google Nest Mini. Para conocer el grado de satisfacción y validez en el uso de estos asistentes se propone una actividad didáctica que involucra el uso de los mismos. Dicha actividad consiste en el planteamiento de una batería de preguntas a los asistentes virtuales por parte de los estudiantes participantes.

Un total de 58 alumnos pertenecientes al nivel educativo de 2º E.S.O., con edades comprendidas entre trece y catorce años, participan en el estudio. A través de la

plataforma web docente, el alumnado participa en una actividad donde se les propone que planteen cualquier pregunta, duda o curiosidad que tengan de la materia impartida en la asignatura de Tecnología durante el curso académico 2019-20. Para desarrollarla, se les da un plazo de 3 días y esta actividad puntuará de forma equitativa dentro del 20% de la nota final otorgada para actividades. La participación de los alumnos en la actividad es muy satisfactoria, obteniendo un total de 58 consultas, una por alumno, que plantear a cada uno de los asistentes virtuales. Una vez obtenidas todas las preguntas o dudas de todo el alumnado, se procede a agrupar dichas preguntas en conceptuales, procedimentales y actitudinales para posteriormente formularlas a cada uno de los asistentes virtuales escogidos para este estudio, es decir, el Google Nest Mini y el Echo Dot.

Una vez transcritas las respuestas de cada asistente son transmitidas a cada estudiante a través de la plataforma docente online. Posteriormente, a través de la misma plataforma se le entrega a todo el alumnado un cuestionario para comprobar si la consulta realizada en un principio ha sido resuelta. En caso de haber sido resuelta, se comprueba si la respuesta ha aclarado su pregunta o duda, y en caso de haber sido resuelta por los dos asistentes, comprobar qué respuesta les ha sido más útil. Asimismo, todas las respuestas obtenidas por los asistentes son contrastadas por los autores, para valorar si es adecuado o no su uso para la asignatura de Tecnología, además de comprobar para qué tipo de preguntas es capaz de dar más repuestas cada uno de los asistentes, comprobando la exactitud y eficacia de la misma.

4 Resultados y discusión

El presente estudio trata de medir la eficacia de los asistentes virtuales con voz en el aula como apoyo al docente en el transcurso de la enseñanza. Sin embargo, la falta de variedad de estudios preliminares en este ámbito dificulta la comparativa con enfoques previos. El uso de asistentes virtuales dentro del aula se presenta como una posible opción de futuro para implementarse dentro del ámbito educativo y así facilitar y asistir en la labor docente del profesor.

Las dudas planteadas por el alumnado se han agrupado según el tipo de contenido al que refieren: conceptual, procedimental y actitudinal. Por una parte, el análisis de los resultados muestra que de las 58 preguntas planteadas por los estudiantes ningún asistente fue capaz de responder más del 56,9% de las mismas, incluyendo las tres tipologías. Este resultado puede deberse a la falta de contexto general y la falta de entrenamiento en el contexto educativo de dichos asistentes. Otro dato destacable es la cantidad de respuestas válidas que arrojan los asistentes, puesto que el hecho de poder dar una respuesta no es sinónimo de que ésta sea válida y, por tanto, sirva de aclaración de las posibles dudas planteadas por los alumnos. Considerando este aspecto, solo 20 (Google) y 14 (Amazon) respuestas se demuestran como válidas del total de 58 preguntas planteadas por el alumnado. De entre las diferentes categorías de preguntas, se ha observado que las respuestas para preguntas de tipo procedimental y actitudinal son en las que más error generan con independencia del dispositivo. La validez de las respuestas, está basada en el criterio de los autores de este estudio.

Se observa que los asistentes presentan serias limitaciones cuando la pregunta planteada no es clara, directa o concisa. Asimismo, dichas limitaciones aparecen cuando toman parte de la información de la pregunta, esto es, palabras clave, que no necesariamente responden a la cuestión planteada. En muchos de estos casos, la respuesta ofrece información relacionada pero que poco o nada tiene que ver con la duda. Este hecho hace que, en general, sean más eficaces respondiendo dudas de carácter conceptual (principalmente para teoría) donde las posibles interpretaciones son escasas.

Considerando que la materia de tecnología tiene, desde un punto de vista docente, un carácter principalmente práctico, nos presenta la seria duda de si el uso de estos asistentes a día de hoy es recomendable. No obstante, sí que se ha observado un efecto positivo de cara a motivar al alumnado. El 100% de los alumnos ha participado en la actividad propuesta, no existiendo una preferencia clara por uno u otro dispositivo. Sí que hubo una respuesta clara ante la pregunta de si querían usar los dispositivos durante el próximo curso llegando a contestar afirmativamente un 94,8% del alumnado.

5 Conclusiones

La aparición de los asistentes virtuales puede jugar un factor importante en cómo asimilamos la información a la que dichos dispositivos nos ponen al alcance. La barrera técnica cada vez es menor y la conversación con el aparato puede hacer más asequible y romper ciertas barreras de comportamiento social como la timidez y la inseguridad. En el campo docente estos dispositivos pueden ser de gran apoyo y, en ese contexto, se ha desarrollado una experiencia práctica para comprobar su efectividad. Si bien es cierto que todavía cierto tipo de consultas no son respondidas de manera satisfactoria, la acogida por el alumnado ha sido muy positiva. Es responsabilidad de los docentes ser conscientes de su presencia e integrarlos en la práctica docente para guiar hacia un uso correcto y adecuado de este tipo de asistentes.

Referencias

1. Huertas, A. y Pantoja, A. (2016). Efectos de un programa educativo basado en el uso de las TIC sobre el rendimiento académico y la motivación del alumnado en la asignatura de tecnología de Educación Secundaria. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70645811009>
2. Liege, J. y Lostalé, E. (2018). La era de la voz: Asistentes Virtuales y Voice Marketing. Recuperado de https://www.kanlli.com/wp-content/uploads/2018/09/LA_ERA_DE_LA_VOZ_ASISTENTES_VIRTUALES_Y_VOICE_MARKETING.pdf
3. Scholz, M. M. (2019). Google Actions en entornos eHealth. Recuperado de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/14534/Google%20Actions%20en%20entornos%20ehealth.pdf?sequence=1>
4. CTL. (2019). Todo el mundo habla de los asistentes virtuales, pero ¿cómo los utilizan realmente los usuarios? Recuperado de <https://aura.telefonica.com/public/papers/04-todo-el-mundo-habla-sobre-asistentes-virtuales-es.pdf>

Software de Realidad Aumentada para la enseñanza-aprendizaje de la asignatura Informática en la Ingeniería Mecánica

Irisleydis Mayol Céspedes, José Antonio Leyva Regalón, José Antonio Leyva Reyes

Departamento de Ciencias Básicas e Informática Aplicada, Universidad de Granma.
Bayamo, Cuba
{imayolc, jaleyva, jleyvar}@udg.co.cu

Resumen. En el presente trabajo se abordan los resultados de la aplicación de un software de Realidad Aumentada en la asignatura Informática de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Granma. El software contiene ejercicios relacionados con contenidos de la asignatura, con el principal propósito de estimular la motivación de los estudiantes. Se implementaron técnicas de interacción basadas en el uso de marcadores fiduciales y se diseñó una base de datos para el almacenamiento de las configuraciones de las escenas aumentadas. En un estudio realizado se planificaron y ejecutaron actividades prácticas y evaluativas para el trabajo individual y colectivo de los alumnos. Los resultados evidenciaron una incidencia positiva del software en el proceso de enseñanza-aprendizaje y un incremento de los conocimientos básicos para los temas restantes de la asignatura.

Palabras Clave: Realidad Aumentada, marcadores fiduciales, enseñanza-aprendizaje, software educativo.

Abstract. In the present work the results of the application of an Augmented Reality software in the Computer Science course of the Mechanical Engineering degree at the University of Granma, are given. The software contains exercises related to the contents of the subject matter, with the main purpose of stimulating students' motivation. Interaction techniques based on the use of fiducial markers were implemented and a database was designed to store the augmented scene configurations. In one study carried out, practical and evaluative activities were planned and executed for individual and group work of the students. The results evidenced a positive incidence of the software in the teaching-learning process and the increase in the basic knowledge of the students for the remaining themes of the subject matter.

Keywords: Augmented Reality, fiducial markers, teaching-learning, educational software.

1 Introducción

El egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica está preparado para diseñar, fabricar, operar y mantener máquinas, equipos, instalaciones, sistemas mecánicos y de transformación de la energía. Durante el período de formación de un ingeniero mecánico cubano, se contribuye al logro de un conocimiento profundo de las ciencias básicas y los fundamentos de la ingeniería, que le permitan un mayor campo de acción en la esfera social y científica.

Entre las disciplinas que conforman el Plan de Estudio de la carrera de Ingeniería Mecánica de las instituciones de la Educación Superior de Cuba, está la Informática, la cual proporciona al estudiante la capacidad de trabajar, comunicarse y aprender a través de las tecnologías de la información y las comunicaciones. Una de estas instituciones es la Universidad de Granma, en la cual se imparten contenidos relacionados con la ofimática, los sistemas de cómputos, la algoritmización y un lenguaje de programación de alto nivel en la asignatura Informática de la carrera de Ingeniería Mecánica.

El principal objetivo de la asignatura es garantizar los conocimientos y habilidades básicas del estudiantado para que logre un mayor desempeño en las restantes materias que conforman el Plan de Estudio. Los temas relacionados con la algoritmización y la programación desarrollan el pensamiento lógico del ingeniero y lo preparan para que sea capaz de resolver problemas de la profesión.

El estudio previo de conceptos y características de los sistemas operativos, hardware y redes de computadoras, así como la resolución de problemas a través del uso de diagramas de flujo, constituyen un vínculo importante para la comprensión del lenguaje de programación de la asignatura. En la enseñanza-aprendizaje de esos contenidos el colectivo de profesores de la asignatura emplea algunos medios didácticos como audiovisuales y multimedias de la plataforma virtual de la universidad.

La escasa disponibilidad de los medios didácticos impide el total cumplimiento de los objetivos de la asignatura, debido a que el estudiante no logra una amplia comprensión de los conceptos y la interrelación entre los componentes de hardware. Una práctica docente para minimizar el impacto negativo de dicha limitante es garantizar que dichos componentes resulten más tangibles para los estudiantes. Sin embargo, la insuficiencia física de ellos para llevar a cabo dicha actividad impide el logro de una mayor calidad en la enseñanza-aprendizaje de este tema.

La resolución de problemas con los diagramas de flujos se ve afectada, en ocasiones, por la desmotivación del estudiante frente a la novedad y la complejidad del contenido, y el tiempo necesario que le toma familiarizarse con alguna herramienta para la diagramación. Estas limitantes precisan de medios que permitan mejorar la enseñanza-aprendizaje de la asignatura Informática de la Ingeniería Mecánica de la Universidad de Granma, para consecuentemente, incrementar las competencias informáticas del estudiante para un mejor desempeño en el resto de las materias de la carrera.

Los diversos procesos de enseñanza-aprendizaje en la Educación Superior han sido apoyados por el uso de programas informáticos basados en la Realidad Aumentada (RA), con el fin de incrementar la motivación de los estudiantes mediante una perspectiva diferente de representar contenidos, fenómenos y situaciones simples o

complejas de abordar en un escenario docente [1-4]. En la RA un entorno físico es enriquecido por información virtual en tiempo real y se facilitan múltiples vías de interacción que, por lo general, involucran métodos naturales [5-7].

En este trabajo se exponen los resultados de la aplicación de un software de Realidad Aumentada, desarrollado por el colectivo de profesores de la asignatura Informática de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Granma, con el propósito de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Las actividades del software están enfocadas a minimizar los impactos de las limitantes abordadas mediante escenas aumentadas que motiven al estudiante a la comprensión y la práctica de los contenidos recreados en el programa.

2 Interacción en las escenas aumentadas

La interacción en la RA constituye una de sus principales potencialidades para la manipulación de objetos 3D. Dado que el usuario es parte de la escena aumentada, la resultante de enriquecer con información virtual un entorno real, los métodos de interacción abarcan no solo el uso de periféricos, sino herramientas no electrónicas y de fácil confección.

Una de estas herramientas es el marcador fiducial de la librería ARToolKit, el cual constituye una tarjeta de papel con una imagen específica para ser reconocida por algoritmos visión por computador [8]. Los marcadores fiduciales son reconocidos mediante el video proporcionado por una cámara física para establecer un sistema de referencia para la información virtual de la escena aumentada.

Para la interacción en las escenas aumentada del software desarrollado, se implementaron tres técnicas basadas en el uso de los marcadores fiduciales. La primera es la oclusión de marcadores [9], con la cual se simuló un panel de tres botones para seleccionar objetos 3D y aplicar acciones específicas. La segunda consiste en un cubo con marcadores [10, 11], empleado como herramienta para trasladar, rotar y escalar un elemento virtual seleccionado. Por último, se utilizaron marcadores independientes para generar eventos cuando ocurre una proximidad entre ellos [12].

La aplicación de RA fue realizada con la librería osgART [13], la cual integra ARToolKit con el motor gráfico OpenSceneGraph. Todas las escenas están agrupadas en una estructura de datos de árbol y la organización correspondiente de cada objeto virtual en la escena de RA, se encuentra en una base de datos relacional de SQLite [14].

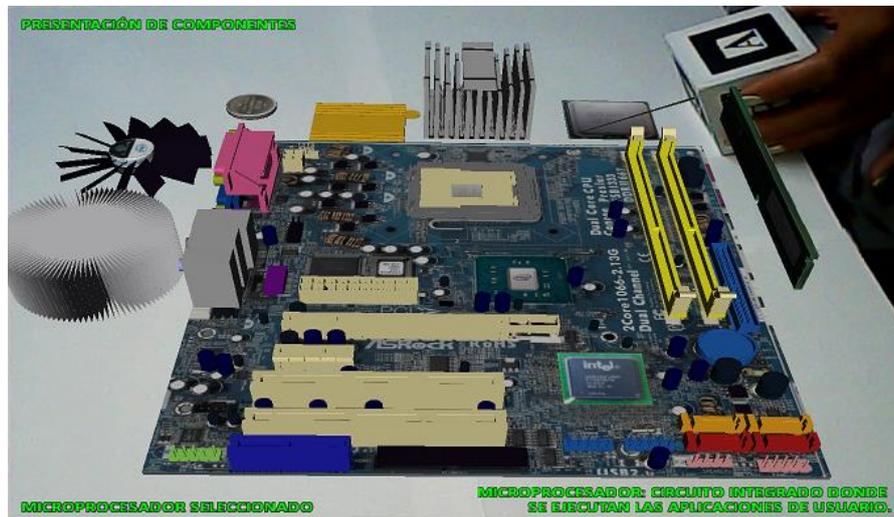
3 Descripción del software

El programa constituye una aplicación de escritorio que requiere de una cámara para la captura del video en vivo y los marcadores fiduciales para la manipulación de la información virtual. El software contiene una serie de funcionalidades desarrolladas con el framework Qt [15], para que un profesor gestione las distintas actividades que se exponen en la Tabla 1.

Tabla 1. Actividades del software de Realidad Aumentada

Tipo de Actividad	Herramienta de Interacción	Usuario
Presentación de componentes	Cubo, panel de botones	Un profesor
Evaluación de componentes	Cubo, panel de botones	Un estudiante
Práctica de Diagrama de Flujo	Marcadores independientes, panel de botones	Un profesor
Evaluación de Diagrama de Flujo	Marcadores independientes, panel de botones	Estudiantes

En la presentación de componentes el profesor puede mostrar un conjunto de elementos virtuales relacionados con las partes de un hardware específico (Figura 1). La presentación está compuesta por uno o varios conjuntos de objetos 3D que son configurados previamente por el docente y asociados a un marcador de referencia que contiene el sistema global de coordenadas.

**Figura 1.** Interacción en la presentación de componentes.

Los marcadores fiduciales independientes entre sí en la práctica de diagrama de flujo, contienen figuras 3D relacionadas con los símbolos de representación de condicional, entrada y salida de datos, proceso, inicio y fin (Figura 2). En la construcción de un diagrama el docente selecciona y coloca un marcador con un símbolo determinado próximo a otro para establecer una relación. Esta proximidad genera una línea de flujo que conecta a los símbolos dando respuesta secuencialmente a la problemática planteada.

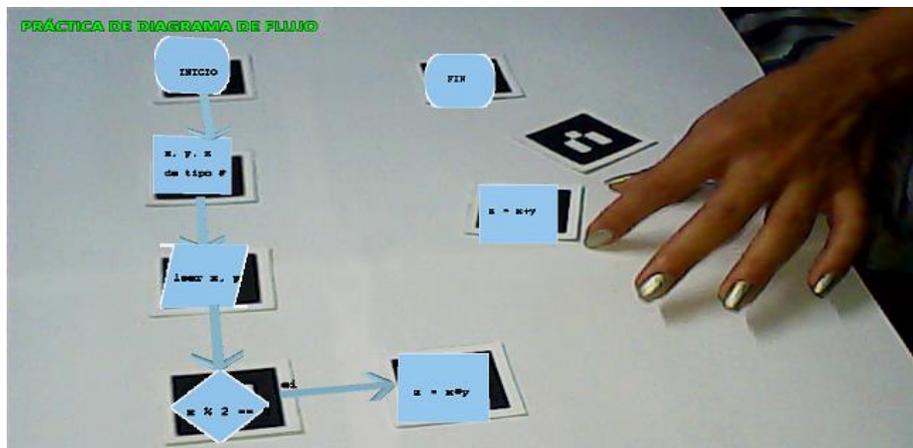


Figura 2. Interacción en la práctica de diagrama de flujo.

La actividad de evaluación de componentes tiene como objetivo que un estudiante responda preguntas relacionadas con las características de los elementos que se muestran. Algunas de las preguntas son respondidas a través del panel de botones y otras con el cubo cuando se requiera seleccionar un elemento acorde a las características de una pregunta para ser situado en un área específica de la escena aumentada. Esta última propiedad facilita al docente planificar situaciones como el ensamble de piezas virtuales, donde el estudiante hace coincidir la organización de los objetos similar al hardware real.

La evaluación de un diagrama está en dependencia de una problemática definida donde pueden participar uno o varios estudiantes en la resolución. Para configurar cualquiera de las actividades de la Tabla 1, el profesor dispone de formularios con las opciones necesarias para seleccionar elementos virtuales disponibles en el directorio del programa o cargar nuevos desde una fuente externa. Al mismo tiempo, puede establecer los conjuntos de componentes y el orden en que serán presentados, o introducir las preguntas y las correspondientes respuestas para la modalidad de evaluación.

La planificación de una evaluación de diagrama de flujo requiere que el profesor proponga un diagrama de solución a un problema a resolver. Luego, el programa genera en los marcadores todos los símbolos de la propuesta para que el estudiante construya posteriormente la solución.

4 Resultados y discusión

En la interacción con el software participaron 27 estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica durante tres encuentros del curso académico 2018-2019. Para el caso de estudio, el colectivo de la asignatura diseñó una presentación de componentes de hardware de computadora y tres prácticas de diagrama de flujo de estructuras secuencial, alternativa y repetitiva. El diseño tuvo como finalidad familiarizar a los estudiantes con la RA y las herramientas de interacción.

En la primera mitad del primer encuentro, los profesores realizaron la presentación y la simulación del ensamble de los componentes fundamentales de una placa madre con el uso del cubo. En la segunda mitad, los estudiantes interactuaron con los elementos virtuales en la escena aumentada realizando la selección y colocación de las piezas similar a su ubicación en una placa real.

De igual forma, en el segundo encuentro se realizaron las prácticas de diagrama de flujo con énfasis en la resolución de los problemas mediante el trabajo en equipos. El intercambio de ideas y el uso de los marcadores para resolver los ejercicios de forma interactiva, condicionaron un espacio educativo de entretenimiento que favoreció la motivación de los estudiantes.

Previo a los tres encuentros, se realizó una evaluación escrita para establecer un punto de partida del nivel de conocimiento de los estudiantes en los contenidos que se abordaron en el estudio. Para el tercer encuentro, se desarrollaron evaluaciones de forma individual empleando las técnicas de interacción de RA implementadas.

Una vez concluidos los ejercicios prácticos y evaluativos en el software se efectuó una segunda evaluación escrita para determinar la incidencia del contenido tratado con la RA. En la Figura 3 se muestran los respectivos promedios de las tres evaluaciones realizadas en el estudio en base a 5 puntos.

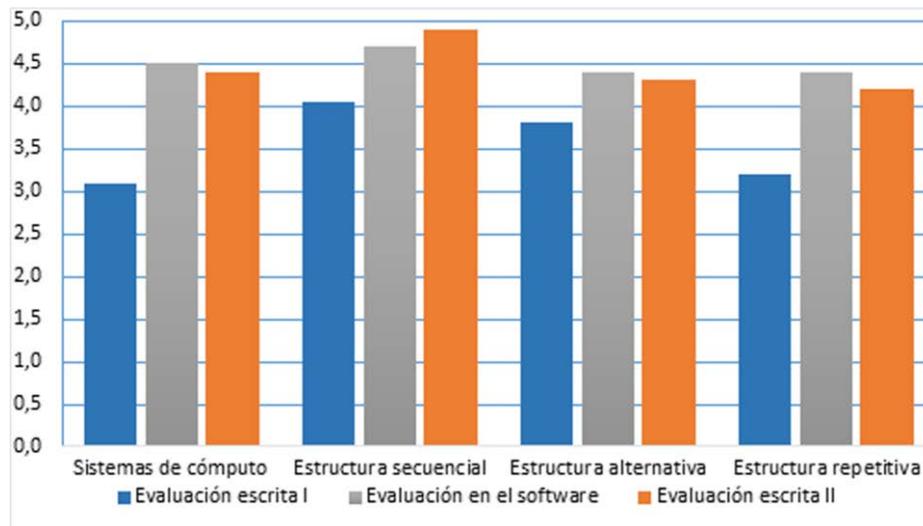


Figura 3. Promedio de evaluaciones de las actividades en el caso de estudio.

En la evaluación con el programa de RA se emplean diversos elementos de reconocimiento para la elección de la respuesta. Esto le proporciona al estudiante resultados superiores en la solución de los ejercicios, con mayor motivación y concentración en las actividades de aprendizaje.

La diferencia entre las evaluaciones escritas evidencia que la propuesta de RA favorece en la mayoría de los estudiantes la asimilación del contenido abordado. Consecuentemente, se fortalecen los conocimientos básicos para los temas restantes de la asignatura.

El sistema de puntuación tiene en cuenta los errores que comete cada alumno y el tiempo en responder las preguntas o ejecutar las tareas específicas de interacción. El seguimiento de los errores permitió al programa mantener una adecuada retroalimentación con el estudiante sobre su desempeño en los ejercicios. De esta forma, el software ayudó a los alumnos que presentaban dificultades al resolver las actividades propuestas.

La rapidez con la que un estudiante completa cada actividad fue contabilizada en una variable de tiempo invisible en cualquiera de las escenas aumentadas. Esta característica permitió al sistema disponer de una bonificación individual para facilitar pistas al alumno en la resolución un ejercicio.

En el estudio, la bonificación constituyó un elemento significativo que influyó sobre la motivación del estudiante. El almacenamiento de todos estos parámetros fue propicio en el posterior análisis del progreso de cada alumno. Ello facilitó al docente dónde y cómo trabajar en el incremento de los resultados individuales del estudiantado.

5 Conclusiones

A través de la aplicación del software desarrollado, se logró una influencia sobre la estimulación de los estudiantes hacia el estudio de la asignatura. Lo anterior se evidenció en los resultados obtenidos de un caso de estudio en un escenario docente real, con estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Granma.

El estudio permitió constatar las múltiples ventajas que permite la Realidad Aumentada para recrear ambientes educativos que favorezcan el proceso de enseñanza-aprendizaje. Las técnicas de interacción implementadas posibilitaron el trabajo individual y colectivo de los estudiantes, creándose un espacio de retroalimentación entre ellos y el sistema.

El almacenamiento en una base de datos de la evaluación y otros parámetros de los ejercicios computarizados fueron determinantes en la toma de decisiones, para el diseño de nuevas estrategias en el proceso docente. Cabe destacar, que el software presentado constituye el inicio de un proyecto más ambicioso para incrementar la calidad de la enseñanza-aprendizaje de la asignatura. Por tanto, se continuará su desarrollo para la planificación y evaluación automática de nuevas actividades que potencien la motivación del estudiantado.

Referencias

1. Dodge, J.C.M., De León, I.S.: Uso de realidad aumentada para enseñanza de conceptos básicos de física mecánica. *Ingeniare*. (12), 11-26 (2012). doi: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.12.631>.
2. Ierache, J.S., et al.: Herramienta de Realidad Aumentada para facilitar la enseñanza en contextos educativos mediante el uso de las TICs. *Revista Latinoamericana de Ingeniería de Software*. 2(6), 365-368 (2014). doi: <https://doi.org/10.18294/relais.2014.365-368>.

3. Alvarez-Marin, A., Castillo-Vergara, M., Pizarro-Guerrero, J., Espinoza-Vera, E.: Realidad aumentada como apoyo a la formación de ingenieros industriales. *Formación Universitaria*. 10(2), 31-42 (2017). doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062017000200005>
4. Ruiz, H.A.C., Jiménez, F.Y.M., Barón, M.J.S.J.E.y.c.: Realidad aumentada (RA): aplicaciones y desafíos para su uso en el aula de clase. *Revista Educación y ciudad*. (35), 137-148 (2018). doi: <https://doi.org/10.36737/01230425.v0.n35.2018.1969>.
5. Barrow, J., Forker, C., Sands, A., O'Hare, D., Hurst, W.: Augmented reality for enhancing life science education. In: Hurst, W., Bruni, V. (eds) *VISUAL 2009: The Fourth International Conference on Applications and Systems of Visual Paradigms*. Rome, Italy (2019).
6. Cabero-Almenara, J., Barroso-Osuna, J.: The educational possibilities of Augmented Reality. *Journal of New Approaches in Educational Research*. 5(1), 44-50 (2016). doi: <https://dx.doi.org/10.7821/naer.2016.1.140>.
7. Nizam, S.S.M., et al.: A review of multimodal interaction technique in augmented reality environment. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*. 8(4-2), 1460-1469 (2018). doi: <http://dx.doi.org/10.18517/ijaseit.8.4-2.6824>.
8. Rabbi, I., Ullah, S., Javed, M., Zen, K.: Analysing the attributes of fiducial markers for robust tracking in augmented reality applications. *International Journal of Computational Vision Robotics*. 7(1-2), 68-82 (2017). doi: <https://doi.org/10.1504/IJCVR.2017.081238>.
9. Garrido-Jurado, S., Muñoz-Salinas, R., Madrid-Cuevas, F.J., Marín-Jiménez, M.J.: Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion. *Pattern Recognition*. 47(6), 2280-2292 (2014). doi: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2014.01.005>.
10. Zhou, Z., Cheok, A.D., Tedjokusumo, J., Omer, G.S.: wIzQubesTM-a novel tangible interface for interactive storytelling in mixed reality. *The International Journal of Virtual Reality*. 7(4), 9-15 (2008).
11. Rabbi, I., Ullah, S.: 3D Model Visualization and Interaction Using a Cubic Fiducial Marker. In: De Paolis, L.T., Mongelli, A. (eds) *Augmented and Virtual Reality. AVR 2014. Lecture Notes in Computer Science*. vol. 8853, pp. 381-393 Cham: Springer (2014). doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-13969-2_28.
12. Billinghurst, M., Grasset, R., Seichter, H.: Tangible interfaces for ambient augmented reality applications, in *Human-Centric Interfaces for Ambient Intelligence*. Aghajan, H., López-Cózar Delgado, R., Augusto, J.C., (eds), Elsevier. 281-302 (2010)
13. Looser, J., Grasset, R., Seichter, H., Billinghurst, M.: OSGART-A Pragmatic Approach to MR. In: *5th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2006): Industrial Workshop*. Santa Barbara, CA, USA (2006).
14. Owens, M., Allen, G.: *The Definitive Guide to SQLite*. Apress (2010)
15. Rischpater, R.: *Application development with qt creator*. Packt Publishing Birmingham (2013)

Simulación y control digital de un motor DC con Scilab-XCOS

G. Olivares⁽¹⁾, F.Gómez⁽²⁾, M.Damas⁽³⁾

Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores.
ETSI Informática y de Telecomunicación. Universidad de Granada
Granada, España

⁽¹⁾gonzalo@ugr.es; ⁽²⁾fgomez@ugr.es; ⁽³⁾mdamas@ugr.es

Resumen. Se describe en este artículo un conjunto de técnicas de control discreto de un motor DC empleando Scilab y XCOS como alternativa de software libre. El conjunto de experiencias propuestas se están empleando en las prácticas de las asignaturas impartidas por el Área de Ingeniería de Sistemas y Automática y el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada con resultados satisfactorios.

Palabras Claves: Control digital, Scilab-XCOS, Motor de corriente continua. PID, LQR, LQI.

Abstract. This paper describes a set of discrete control techniques of a DC motor using Scilab and XCOS as a free software alternative. The set of experiences proposed is being used in the practices of the subjects taught by the Systems Engineering and Automation Area and the Department of Architecture and Computer Technology of the University of Granada with satisfactory results.

Keywords: Digital-Control, Scilab-XCOS, DC motor.

1 Introducción

Matlab-Simulink es sin duda la herramienta de software de simulación más utilizada en la enseñanza de sistemas de control. No obstante, debido a su coste, no todas las universidades disponen de esta herramienta, o bien, puede haber dificultades puntuales de acceso a los computadores de los laboratorios que disponen de las licencias de uso, tal y como ha ocurrido durante periodos de confinamiento por pandemia, en los cuales los estudiantes no han podido usarlo.

Tras analizar varias posibilidades de software libre, hemos empezado a usar Scilab-XCOS como alternativa viable para el diseño y simulación de sistemas de control, y también como herramienta de control en tiempo real de sistemas mecatrónicos básicos, en los laboratorios de prácticas de algunas asignaturas de grado y master impartidas por el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de

Granada (Informática Industrial, Sistemas de Control, Control Digital de Sistemas Mecatrónicos, etc.).

El motor de corriente continua es uno de los principales componentes que se utilizan en sistemas mecatrónicos. Conocer bien su comportamiento, modelado y métodos de control es básico para avanzar y abordar más adelante el control de sistemas mecánicos más complejos. Además, controlar la posición angular del eje de un motor (servomotor) o la velocidad angular del mismo, permite de una forma sencilla, experimentar y asimilar correctamente un conjunto amplio de conceptos relacionados con el desarrollo de sistemas de control, tales como: funciones de transferencia continuas y discretas, estabilidad, controlabilidad, observabilidad, control PID, control LQR, representación en el espacio de estados, control por ubicación de polos, controladores-observadores, y también experimentar con filtros digitales, sistemas con ruido, etc. En su día ya preparamos un conjunto de guiones y ejercicios prácticos de control de una maqueta de motor DC a realizar con Matlab y Simulink [1].

Ahora presentamos algunos ejemplos de ejercicios prácticos para la docencia de sistemas de control digital realizados con Scilab-XCOS y con un equipamiento hardware distinto.

2 Descripción del equipamiento hardware

Para el desarrollo de las prácticas utilizamos un kit compuesto por un motor DC [2], con una relación de engranajes de 20:1, que dispone a su vez de un codificador incremental, en cuadratura, de 13 ranuras, que suministra 1040 pulsos por vuelta. El controlador es una tarjeta Arduino Mega 2560 [3] e incluye una tarjeta de potencia con el adaptador Toshiba TB6612 [4].



Fig 1. Motor conectado a tarjeta controladora y fotografía del kit completo

3. Scilab

Scilab [5] es un paquete de software libre diseñado para la simulación de sistemas en general, y de sistemas de control en particular, que ha sido desarrollado en Francia por el INRIA (*Institut National de Recherche en Ciencias et Technologies du Numérique*). Al contrario que otras herramientas de software como Octave, la lista de comandos de Scilab no es compatible con Matlab, aunque siempre dispone de funciones equivalentes. Sin embargo, Scilab incluye XCOS [6], que permite programar en forma gráfica en forma similar a Simulink, y dispone de una amplia biblioteca (denominada paleta) con todos los módulos necesarios, tal y como se puede apreciar en la figura 2.

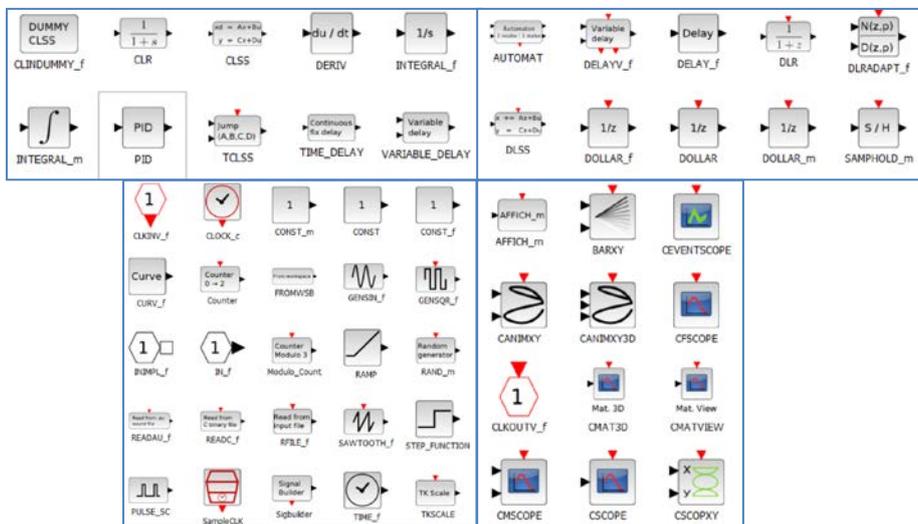


Fig 2. Ejemplo de módulos de XCOS

Scilab se instala muy rápidamente, y requiere muchos menos recursos computacionales que Matlab, lo que es importante para que se pueda usar en la gran mayoría de los computadores de los estudiantes. Dispone además de todas las funciones necesarias para el diseño y la simulación de sistemas de control.

XCOS dispone además de una biblioteca de módulos de interfaz con las tarjetas Arduino Mega y Arduino UNO (ver figura 3), lo que permite realizar aplicaciones de control en tiempo real con dichos dispositivos, siempre que el periodo de muestreo no sea inferior a 0.03 segundos. Esto último hace que esta característica no se pueda usar para controlar algunos sistemas mecatrónicos ampliamente usados en experiencias prácticas docentes (péndulo invertido, sistema de bola en plano, mini-segway, etc.), pero es suficiente para ser utilizada para el control del motor DC, objetivo de nuestro trabajo.

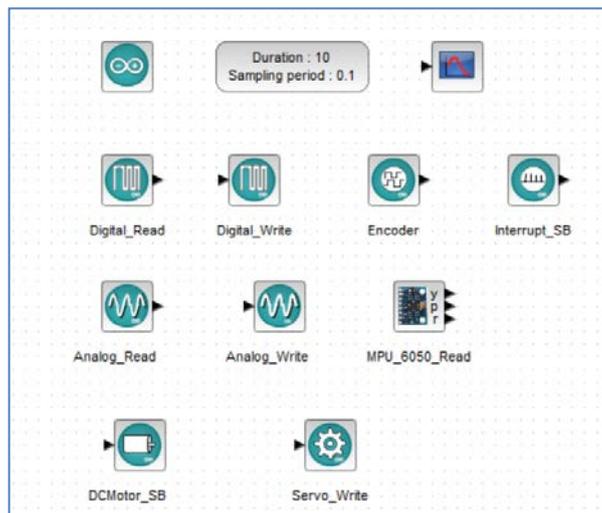


Fig 3. Módulo XCOS para Arduino

4. Listado de ejercicios experimentales ensayados

Presentamos a continuación una lista de tareas experimentales desarrolladas con la herramienta y equipo anteriormente descritos:

1. Control de la velocidad del motor en lazo abierto.
2. Diseño y control PD discreto de posición en tiempo real; comparativa con la simulación mediante la función de transferencia.
3. Diseño y control PI discreto de la velocidad angular; comparativa con la simulación mediante la función de transferencia.
4. Control LQR (comparativa entre simulación y control en tiempo real).
5. Control y simulación LQI (LQR con integrador).
6. Simulación de control con observador discreto.

Todas estas tareas didácticas han sido planificadas y ensayadas con éxito. A lo largo de este artículo (apartado 5) se detallarán.

5. Modelado del motor DC

A partir de las ecuaciones diferenciales que definen el comportamiento físico de un motor de corriente continua, y suponiendo una autoinducción despreciable ($L=0$), se obtiene la representación en el espacio de estados continuo del motor, con variables de estado (θ, ω) :

$$Ki = J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} \Rightarrow \ddot{\theta} = -\frac{b}{J}\dot{\theta} + \frac{K}{J}i \quad [1]$$

$$V - K\dot{\theta} = Ri + Li\dot{=} Ri \text{ ya que } L=0$$

$$\text{Despejando } i: \quad i = \frac{V - K\dot{\theta}}{R}$$

$$\text{Sustituyendo } i \text{ en [1]: } \ddot{\theta} = -\frac{b}{J}\dot{\theta} + \frac{K}{J}i = -\frac{b}{J}\dot{\theta} + \frac{K}{J}\left(\frac{V - K\dot{\theta}}{R}\right)$$

$$\ddot{\theta} = -\left(\frac{b}{J} + \frac{K^2}{RJ}\right)\dot{\theta} + \frac{K}{RJ}V$$

En forma matricial :

$$\begin{pmatrix} \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\left(\frac{b}{J} + \frac{K^2}{RJ}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{K}{RJ} \end{pmatrix} V$$

$$\dot{\theta} = (1 \ 0) \begin{pmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \end{pmatrix}$$

donde J es el momento de inercia del eje, K es la constante de fuerza electromotriz cuyo valor numérico es el mismo que el valor de la constante de par motor ($K=K_t=K_e$), R es la resistencia del bobinado, L la autoinducción, b el coeficiente de fricción, y V la entrada de control (voltaje aplicado al motor).

La función de transferencia con respecto a la posición angular es:

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{s[JLs^2 + (RJ + Lb)s + (Rb + K^2)]} = \frac{K'}{s(Ts + 1)} \quad (L=0)$$

$$K' = \frac{K}{Rb + K^2} \quad T = \frac{RJ}{Rb + K^2} \text{ constante mecánica}$$

y la función de transferencia con respecto a la velocidad angular:

$$\frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{K}{JLs^2 + (RJ + Lb)s + (Rb + K^2)} = \frac{K'}{Ts + 1}$$

Para el motor utilizado, se obtuvo experimentalmente: $K'=4.56$ y $T=0.07$

6 Resultados obtenidos

A continuación se describen algunos de los módulos experimentales y los resultados obtenidos.

6.1 Control del motor en lazo abierto y lectura del ángulo de giro del motor

En la figura 4 se presenta un módulo realizado con XCOS para el control de velocidad del motor en lazo abierto. Se puede seleccionar el sentido de giro mediante la activación de dos pines de salida digital; asimismo, la velocidad se regula con una salida PWM.

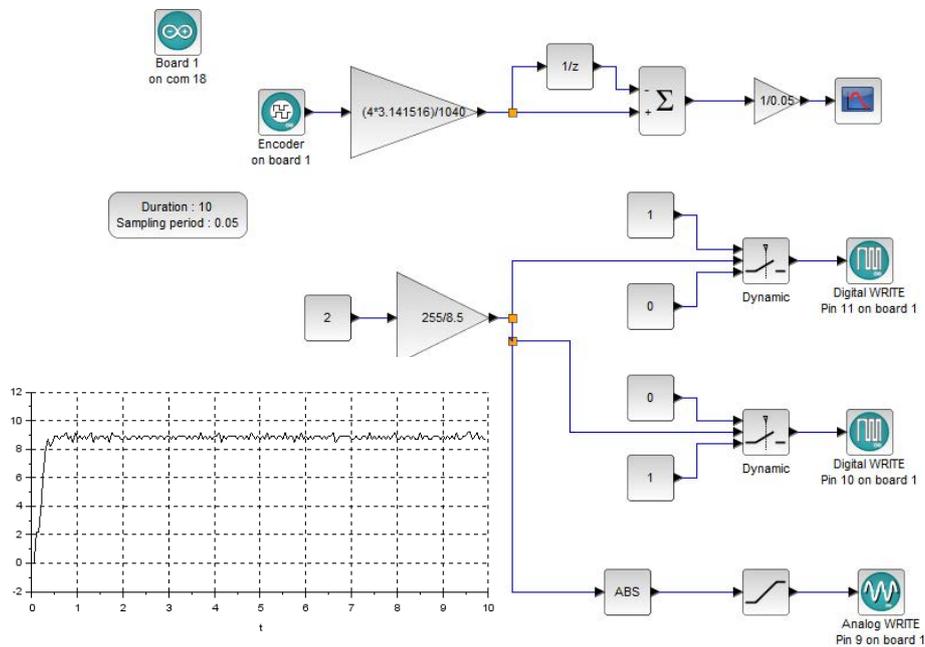


Fig 4. Control de la velocidad y sentido de giro del motor en lazo abierto y lectura del ángulo de giro.

6.2 Lectura de la velocidad de giro w del motor

A partir de la medida del ángulo de giro en radianes, se lleva a cabo la derivada mediante el método Backward-Euler para obtener la medida de la velocidad angular en radianes/segundo (ver figura 5). El periodo de muestreo seleccionado es de 0.05 segundos.

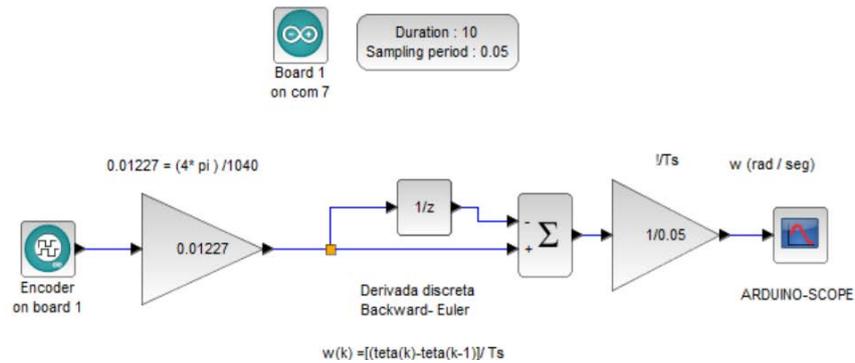


Fig 5. Medida de la velocidad de giro del motor.

6.3 Control PD de la posición angular del motor (servo)

Los parámetros del controlador PD (constantes proporcional y diferencial) se diseñan a partir de la función de transferencia del motor y en función de la respuesta deseada. Se usa el método de diseño por ubicación de los polos de la respuesta final deseada, a partir del sobredisparo máximo (M_p) y el tiempo de asentamiento (t_s) requeridos. Presentamos a continuación un programa Scilab para realizar dicho diseño y representar gráficamente la respuesta del sistema controlado:

```

R=3.8; L=0.0037; K=0.2; b=0.001; T=0.07;
J=(T*(R*b+K^2))/R; Kprima=K/(R*b+K^2);
s=%s;
G=Kprima/(s*(T*s+1));
Ts=0.01; // periodo de muestreo
Mp=0.001; ts=0.5;
xi=abs(log(Mp)/sqrt(%pi^2+log(Mp)^2)); wn=4/(xi*ts);
// Calculo de Kp y Kd Kp=((wn^2)*T)/Kprima;
Kd=(2*xi*wn*T-1)/Kprima;
// Simulacion
fdtPD=Kd*s+Kp; // f.d.t del controlador PD
sysc=K/(J*L*s^3+(R*J+L*b)*s^2+(R*b+K^2)*s);
fdtlazoc=(fdtPD*sysc)/.1; // Realimentación negativa
t=[0:0.01:3];
r=10+0*t; // consigna de ángulo deseado (10 rad)
y=csim(r,t,fdtlazoc);
plot(t,y);

```

Una vez obtenidas las constantes K_p y K_d del controlador PD, este se implementó de nuevo con XCOS, visualizando en tiempo real la respuesta ante un cambio de consigna periódico. Además, en el mismo ejemplo se realizó una comparativa con la respuesta simulada sobre la función de transferencia (ver figura 6).

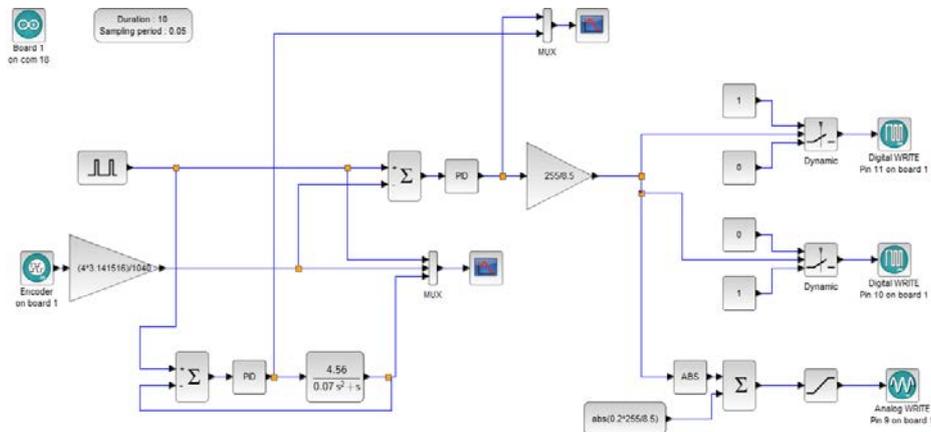


Fig.6 Control PD de la posición angular, realizado con XCOS

Se obtuvieron los siguientes resultados experimentales:

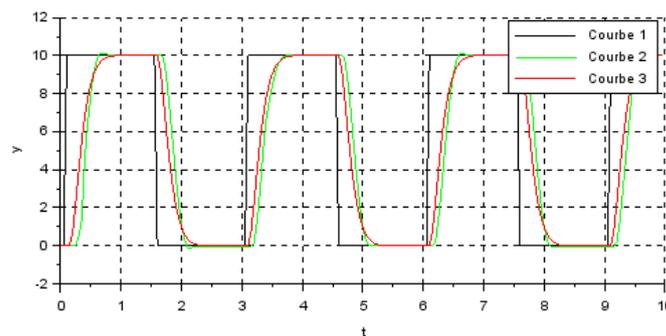


Fig.7 Consigna (en negro), ángulo del eje estimado (en rojo) y ángulo real controlado (en verde)

La respuesta es casi idéntica. Se detecta un pequeño retardo debido al retardo de la comunicación serie con la tarjeta Arduino. Hay que tener en cuenta también que se compara la respuesta teórica continua con la respuesta real del sistema discreto, con una baja frecuencia de muestreo.

6.4 Control PI de la velocidad angular

En la figura 8 se puede apreciar el diseño XCOS del control Proporcional-Integral (PI) de la velocidad w del motor en tiempo real, con un periodo de muestreo de 0.05 seg, así como su simulación empleando la función de transferencia continua del motor.

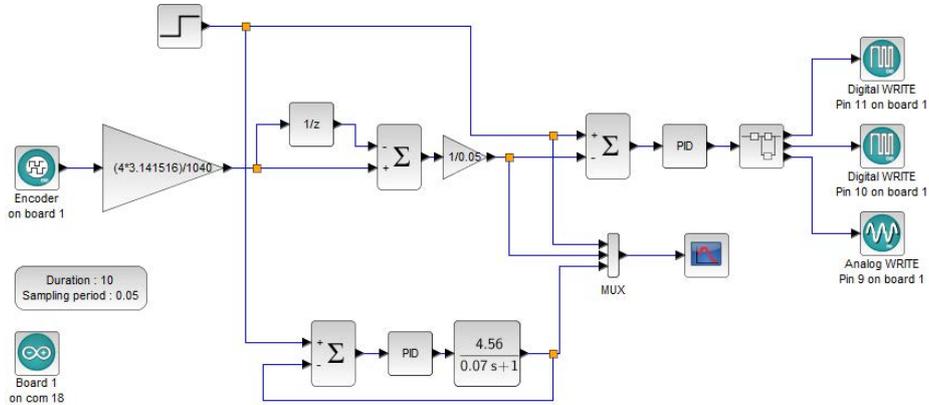


Fig.8 Control y simulación en tiempo real de la velocidad angular del motor

Se puede observar (figura 9), que salvo el ruido registrado en la gráfica experimental, las respuestas en tiempo real (en verde) y simulada (en rojo) son muy similares.

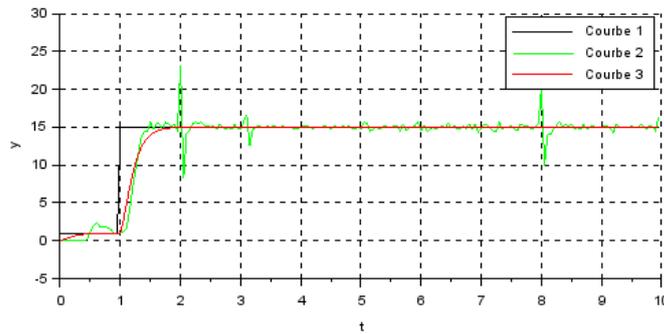


Fig.9 Consigna, señales real y simulada de la velocidad angular controlada

6.5 Control LQR de la posición angular

Con el módulo XCOS de la representación en el espacio de estados (ver figura 10) descrita en el apartado 5, hemos implementado un sistema de control de posición angular por realimentación en el espacio de estados (ver figura 11), donde las constantes de realimentación se calculan mediante un Regulador Cuadrático Lineal (LQR) discreto que optimiza la respuesta de control, minimizando además el coste energético [7].

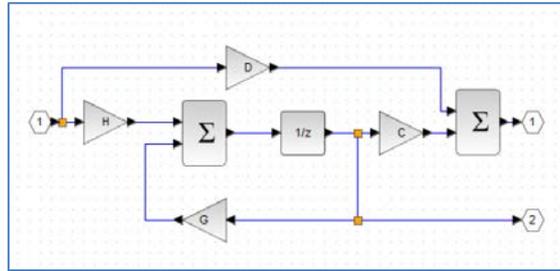


Fig 10 Módulo para la representación de estados discreta en XCOS

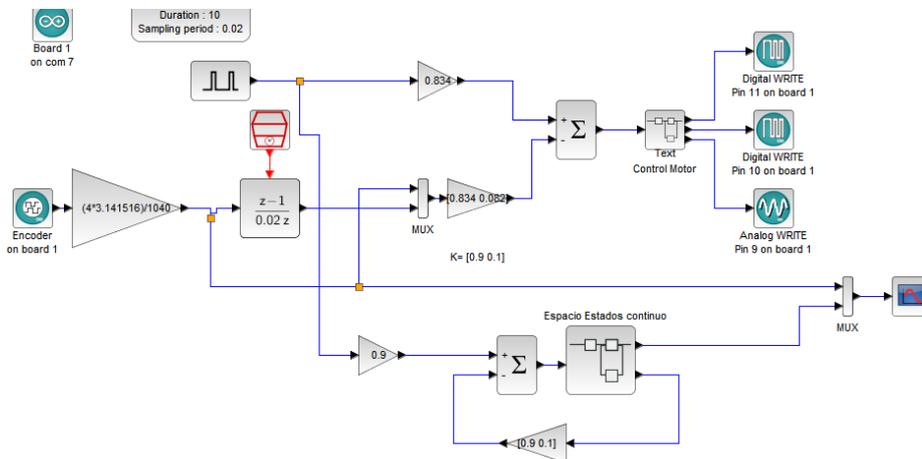


Fig 11 Comparativa entre control LQR del servo motor, real y simulado, usando XCOS .

Se puede apreciar que las respuestas simulada y real se aproximan muy bien (ver figura 12).

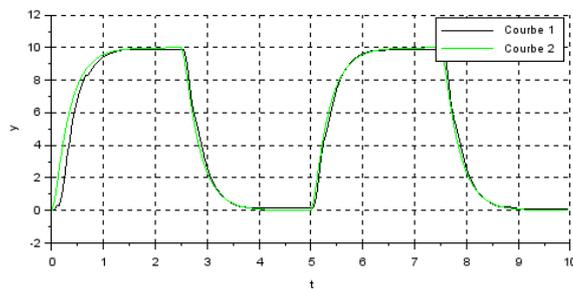


Fig 12. Señales obtenidas en el control LQR del servo motor.

6.6 Control LQI (LQR con Integrador) de la velocidad angular

Dado que la función de transferencia que relaciona la velocidad angular con el voltaje aplicado al motor es de tipo 1 (no tiene integradores), será necesario incorporar una acción integral discreta para conseguir una respuesta adecuada en régimen transitorio. Para ello hemos ensayado con XCOS la configuración de simulación presentada en la figura 13.

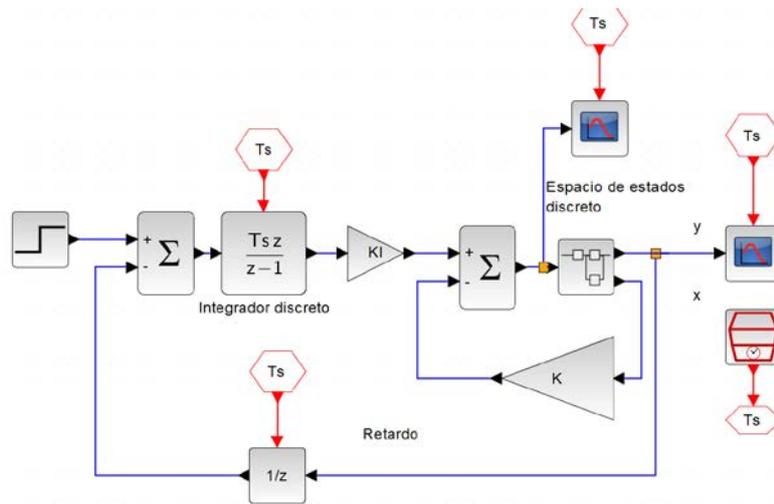
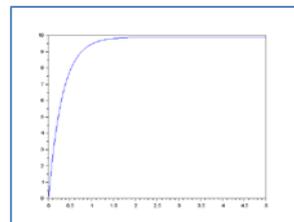


Fig 13. Configuración LQI simulada con XCOS.

Para el diseño de las constantes K , y de la ganancia KI , hemos desarrollado el siguiente programa Scilab:

```
// LQI-Integrador discreto w motor
R=3.8; L=0.0037; K=0.2; b=0.001; T=0.07; J=(T*(R*b+K^2))/R;
Kprima=K/(R*b+K^2);
//Modelo del motor simplificado (L=0)
A = [0 1; 0 -(b/J)-(K^2)/(R*J)]; B = [0; K/(R*J)]; C = [0 1]; D = [0];
sysc=syslin('c',A,B,C,D); Ts=0.001;
sysd=dscr(sysc,Ts); // discretizamos el sistema
G = sysd.a; H = sysd.b; C = sysd.c; D = sysd.d;
//matrices discretas para calculo posterior de K
GG=[G zeros(2,1);-Ts*C 1]; HH=[H;0]; CC=[C 0]; DD=[0];
sysGG=syslin('d',GG,HH,CC,DD);
Q=diag([0.1,1,10]); R=0.1;
KK=-lqr(sysGG,Q,R); // KK=lqi(sysd,Q,R) OPCIONAL
KI=-KK(3); K=KK(1:2)-(KI*Ts*C); // KK=[(K+KI*Ts*C) -KI]
// Matrices para simulación
```



```

GGG=[G-H*(K+KI*Ts*C) H*KI;-Ts*C 1]; HHH=[H*KI*Ts;Ts]; CCC=[C 0]; DDD=[0];
x0 = [0;0;0]; // 3 Condiciones iniciales. Añadimos integrador
sys_fd=syslin('d',GGG,HHH,CCC,DDD,x0); t=[0:Ts:2];
r=10+0*t; // Consigna de 10 rad /seg
y=dsimul(sys_fd,r); // y discreto
x=ltitr(GGG,HHH,r,x0); // x discreto
plot(t,y); // dibujar la salida y
u=-K*x((1:2),:)+KI*x(3,:);
plot(t,u); // dibujar la señal de control
    
```

Con los valores de las constantes de realimentación obtenidas, hemos realizado además un control LQI en tiempo real (ver figura 14).

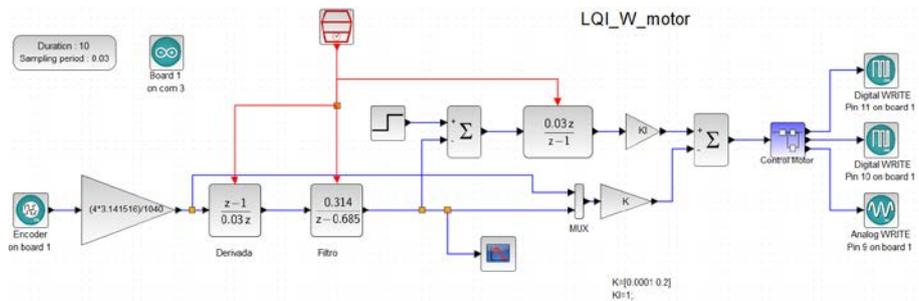


Fig 14. Configuración LQI de control de w en tiempo real

En la figura 15 se puede apreciar las respuestas simulada y real para una velocidad angular deseada de 10 rad/seg. La respuesta real tiene mucho ruido, a pesar del filtrado pasa baja realizado. Se debe principalmente a la baja velocidad de muestreo que permite la comunicación XCOS con la tarjeta Arduino Mega.

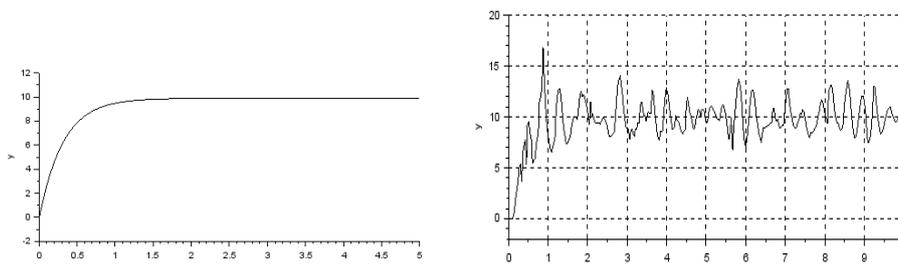


Fig 15. Respuesta simulada y real

6.7 Controlador-Observador

Cuando no puede medirse con precisión alguna de las variables de estado, o hay mucho ruido en las medidas se puede utilizar un observador de estados discreto (siempre que el sistema sea observable) [8], a partir del modelo de estados y de la salida, que en nuestro caso es la posición angular del eje del motor.

El diseño de las constantes L de realimentación del observador y las constantes K de realimentación del controlador se realiza previamente mediante un programa Scilab.

Aunque con nuestra herramienta la programación en tiempo real del controlador-observador no puede llevarse a cabo con frecuencias de muestreo bajas, hemos desarrollado un esquema XCOS para la simulación de este tipo de configuración, aplicada al motor, en el que se ha añadido ruido a la medida de la salida (ver figura 16).

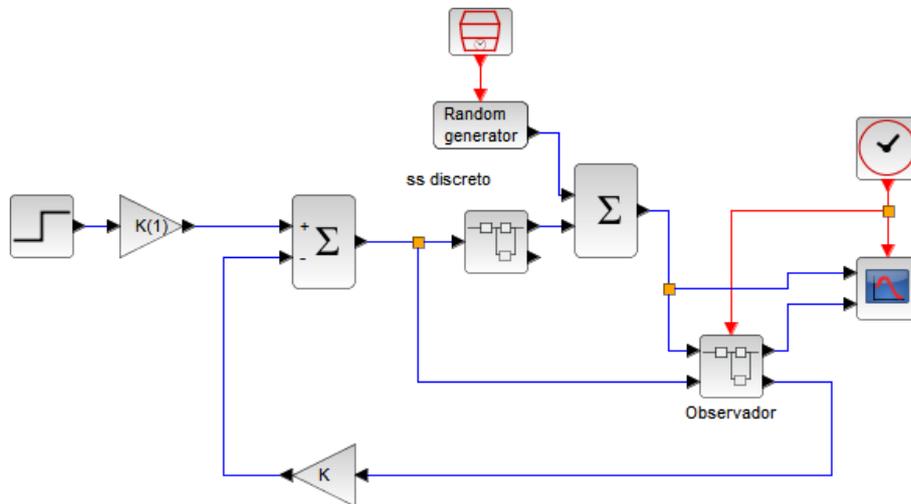


Fig 16. Controlador-observador de la velocidad angular

En la figura 17 se presentan los resultados de la señal de salida, con ruido y filtrada mediante el observador.

7 Conclusiones

Se ha diseñado con Scilab y XCOS un conjunto de experiencias prácticas para el estudio de las principales técnicas de control digital de la posición y velocidad de un motor de corriente continua.

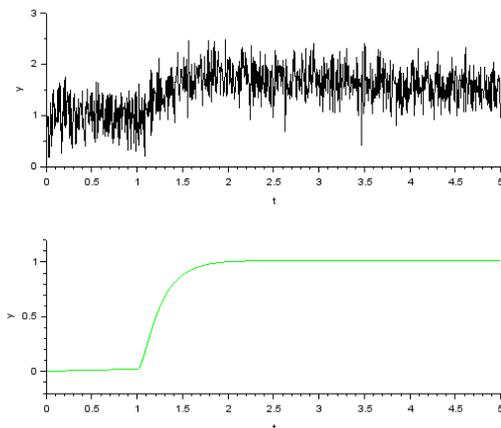


Fig 17. Velocidad angular con ruido y filtrada, simulada con el controlador-observador

Scilab y XCOS son herramientas de libre disposición, con la ventaja que ello conlleva. Su uso es muy intuitivo y la ejecución es muy ágil, prácticamente en cualquier tipo de computador, lo que es ideal para ser utilizado por alumnos. XCOS dispone de librerías para la lectura y el control (vía puerto serie) de entradas y salidas de las tarjetas Arduino más populares (UNO y Mega). De esta manera hemos podido implementar en tiempo real los distintos procedimientos de control discreto, sin apenas problemas.

La principal desventaja de nuestra solución está relacionada con las limitaciones del periodo de muestreo, que como máximo es de 0.03 segundos. Esta limitación no afecta al control PID, LQR o LQI del motor, pero no permite realizar control en tiempo real con observadores o controladores LQG con filtros de Kalman, por ejemplo. Además, tampoco puede usarse para el control real del equilibrio con otros dispositivos mecatrónicos ampliamente utilizados en experiencias didácticas, tales como péndulo invertido, segway, motocicleta autónoma, etc.

Sin embargo, hemos comprobado que los principales fundamentos de la teoría de control sí pueden ser verificados con la solución propuesta, por lo que pretendemos seguir usando este procedimiento en el laboratorio para las asignaturas de control de primer nivel.

8 Referencias

- 1 G. Olivares, A. Olivares, F. Gómez, M. Damas. "Sistema de control de bajo coste de un motor de corriente continua para usos didácticos". Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores (2017). ISSN 2173-8688.
2. Kit motor. Accedido el 9/10/2020: <https://es.aliexpress.com/item/32807128872.html?spm=a2g0s.8937460.0.0.58cd2e0eapellz>
3. Arduino. <https://www.arduino.cc>. Accedido el 9/10/2020

4. Driver Toshiba TB6612. Accedido el 9/10/2020:
<https://toshiba.semicon-storage.com/ap-en/semiconductor/product/motor-driver-ics/brushed-dc-motor-driver-ics/detail.TB6612FNG.html>
5. Scilab. <https://www.scilab.org/>. Accedido el 9/10/2020.
6. XCOS. <https://www.scilab.org/software/xcos> . Accedido el 9/10/2020
7. Ogata, N. “Ingeniería de Control Moderna”. ISBN: 9788483226605
8. Bishop. R.H: “Sistemas de Control Moderno”. ISBN-10: 8420544019. 2005.

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 abordar 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

December 2020, Number 10

