

TICAI 2017

TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería

Editores

Alfonso Lago Ferreiro
André Vaz Fidalgo

TICAI 2017

**TICs para el
Aprendizaje
de la Ingeniería**

I.S.B.N.: 978-84-8158-774-6

Índice

<i>Unas palabras de los editores.....</i>	<i>i</i>
<i>Uma palavra dos editores.....</i>	<i>ii</i>
Capítulo 1	1
Cursos de Engenharia Civil, Mecânica e de Produção: Comparação dos Valores de CPC Obtidos nos Enades de 2008, 2011 e 2014.....	1
<i>Marcos José Tozzi e Adriana Regina Tozzi</i>	<i>1</i>
Capítulo 2	7
A Inclusão do Ensino da Acessibilidade na Formação do Engenheiro Civil	7
<i>Dione Luiza da Silva, Regina Lúcia Melo de OliveiraO, Deborah Grasielly Cipriano da Silva, Juliana Maria Mccartney da Fonseca, Marcílio André Felix Feitosa</i>	<i>7</i>
Capítulo 3	13
uAdventure: El Renacer de eAdventure	13
<i>Ivan J. Perez-Colado, Victor M. Perez-Colado, Ivan Martínez-Ortiz, Manuel Freire-Moran, Baltasar Fernández-Manjón.....</i>	<i>13</i>
Capítulo 4	21
Contribuições para a Gestão de Inundações em Sistemas Urbanos de Drenagem através do Controlo de Barreiras Subterrâneas.....	21
<i>Joaquim Leitão, Alberto Cardoso, José Alfeu Sá Marques e Nuno Simões.....</i>	<i>21</i>
Capítulo 5	29
Una Federación de Laboratorios Remotos VISIR a través del Proyecto PILAR.....	29
<i>Wlodek J. Kulesza, Ingvar Gustavsson, Maria Arcelina Marques, Gustavo R. Alves, André V. Fidalgo, Unai Hernandez-Jayo, Javier Garcia-Zubia, Christian Kreiter, Ramona Oros, Andreas Pester, Danilo Garbi Zutin, Prof. Dr. (mult) Michael E. Auer, Carla Garcia-Hernandez, Ricardo Tavío Gallo, Marjo Savela, Felix Garcia Loro, Alejandro Macho Aroca, Elio San Cristobal Ruiz y Gabriel Díaz</i>	<i>29</i>
Capítulo 6	37
Lego: un Marco para el Aprendizaje en el Itinerario de Tecnologías de la Información.....	37
<i>Óscar Cánovas Reverte, Gabriel López Millán, Gregorio Martínez Pérez.....</i>	<i>37</i>
Capítulo 7	45
<i>¡Acepta el Reto!:</i> Juez Online para Docencia en Español	45
<i>Pedro Pablo Gómez Martín y Marco Antonio Gómez Martín.....</i>	<i>45</i>
Capítulo 8	53
Prácticas de Formación Flexible y sus Efectos en la Calidad de los Programas de Ingeniería.	53
Caso Universidad Libre Cali- Colombia	53
<i>Freddy W. Londoño, Msc, Fabian Castillo Peña, Msc.....</i>	<i>53</i>

Capítulo 9	61
Retos, Tendencias y Prácticas Pedagógicas que Aportan a la Innovación en el Aprendizaje en la Educación Superior en Ingeniería	61
<i>María Paula Millán, Lizeth Serrano, Edna Bravo.....</i>	<i>61</i>
Capítulo 10	69
Plataforma Docente basada en un Agente Autónomo Móvil de Bajo Coste.....	69
<i>R. Orellana Galloso, M.C. Rodríguez Sánchez, J. Vaquero López, D. Martín Martín.....</i>	<i>69</i>
Capítulo 11	77
Prácticas de Electrónica de Potencia con Plataforma Digital Basada en Microcontrolador ...	77
<i>Pablo Zumel, Cristina Fernández, Carlos Salto, Andrés Barrado</i>	<i>77</i>
Capítulo 12	85
Una Revisión Sistemática del Uso de la Taxonomía de Bloom en la Enseñanza de la Informática	85
<i>Susana Masapanta-Carrión y J. Ángel Velázquez-Iturbide, Senior Member, IEEE.....</i>	<i>85</i>
Capítulo 13	93
Herramienta de Visualización de Programas SRec: Un Estudio de la Autoeficacia del Estudiante	93
<i>Maximiliano Paredes-Velasco, Isidoro Hernán-Losada, J. Ángel Velázquez-Iturbide, Carlos-María Alcover.....</i>	<i>93</i>
Capítulo 14	101
Desenvolver o Pensamento Computacional Usando Seguir e Dar Instruções	101
<i>José Figueiredo, Francisco José García-Peñalvo.....</i>	<i>101</i>
Capítulo 15	109
Una Experiencia (Relativamente) Insatisfactoria de Uso de Scratch en CS1	109
<i>José-Alfredo Martínez-Valdés y J. Ángel Velázquez-Iturbide, Senior Member, IEEE</i>	<i>109</i>
Capítulo 16	117
Estudo Comparativo entre Laboratórios Remotos e Simuladores.....	117
<i>Matheus Varela Branco, Letícia Aparecida Coelho, e Gustavo R. Alves, Membro Sênior, IEEE... 117</i>	

Unas palabras de los editores

TICAI 2017 es el undécimo volumen de una serie editada por los Capítulos Español y Portugués de la Sociedad de Educación del IEEE, que tuvo su inicio en 2006. Esta serie tiene como objetivo central divulgar los mejores trabajos en lengua española y portuguesa en el campo de la enseñanza de la ingeniería en las áreas amparadas por el IEEE, presentados en los foros internacionales más reconocidos donde, estos temas, son discutidos.

Este volumen integra 16 artículos presentados en 8 conferencias internacionales, cubriendo temas más técnicos, como los laboratorios remotos y su aplicación a la enseñanza, y otros más diversos que permiten el desarrollo de marcos de aprendizaje de las diferentes tecnologías, prácticas formativas en un entorno profesional, estudio de retos y tendencias de innovación en el aprendizaje con el objetivo de mejorar la enseñanza en la ingeniería.

Agradecemos a todos los autores la colaboración en la edición de un volumen más de esta colección, que permite compartir nuevas experiencias, al mismo tiempo que difundir los idiomas de castellano y portugués. A cada lector le deseamos una lectura provechosa e inspiradora, que pueda contribuir a que, conociendo lo más reciente en términos de aplicación de la tecnología y de la creación de metodologías pedagógicas innovadoras en la enseñanza/aprendizaje de la ingeniería, en este espacio geográfico que son los países iberoamericanos, se sienta motivado no sólo para usar esa tecnología y esas prácticas, sino para desarrollar su propio trabajo en esta área.

Los editores

Alfonso Lago Ferreira (Capítulo Español de la Sociedad de Educación del IEEE)

André Fidalgo (Capítulo Portugués de la Sociedad de Educación del IEEE)

Uma palavra dos editores

TICAI 2017 é o décimo primeiro volume de uma série editada pelos Capítulos Espanhol e Português da Sociedade de Educação do IEEE, que teve início em 2006. Esta série tem como objetivo central divulgar os melhores trabalhos em língua espanhola e portuguesa no domínio do ensino da engenharia nas áreas abrangidas pelo IEEE, apresentados nos mais reconhecidos fóruns internacionais, onde estes temas são discutidos.

Este volume integra 16 artigos apresentados em 8 conferências internacionais, cobrindo por um lado temas técnicos, como os laboratórios remotos e sua aplicação no ensino, e por outro temas que abordam o desenvolvimento de metas de aprendizagem das diferentes tecnologias, metodologias de ensino em ambiente profissional e o estudo de desafios e tendências de inovação na educação, com o objetivo de melhorar o ensino da engenharia.

Agradecemos a todos os autores a colaboração na edição de mais um volume desta coleção que permite partilhar novas experiências, e ao mesmo tempo difundir os idiomas português e castelhano. A cada leitor desejamos uma leitura profícua e inspiradora, que possa contribuir para que, conhecendo o que de mais recente se produziu em termos de aplicação da tecnologia e da criação de metodologias pedagógicas inovadoras no ensino/aprendizagem da engenharia, neste espaço geográfico que são os países ibero-americanos, se sinta motivado não só para usar essa tecnologia e essas práticas, mas igualmente para desenvolver o seu próprio trabalho nesta área.

Os editores

Alfonso Lago Ferreira (Capítulo Espanhol da Sociedade de Educação do IEEE)

André Fidalgo (Capítulo Português da Sociedade de Educação do IEEE)

Capítulo 1

Cursos de Engenharia Civil, Mecânica e de Produção: Comparação dos Valores de CPC Obtidos nos Enades de 2008, 2011 e 2014

Marcos José Tozzi e Adriana Regina Tozzi

Abstract— The data presented here represent the results of the Program Preliminary Concept (CPC), published by the Anísio Teixeira National Institute of Educational Studies and Research (INEP), and refer to the programs of Civil, Mechanical and Production Engineering. The results of CPC were obtained in the Students Performance National Examination (ENADE), held in 2008, 2011 and 2014. This article presents a comparison of results obtained from CPC values distribution in the three Examinations and suggests a better analysis in the CPC calculation methodology, since the results indicated a considerable distortion on the results obtained exclusively by the exam made by the students.

Keywords— Engineering, ENADE, Program Preliminary Concept (CPC).

Abstract— Os dados aqui apresentados representam os resultados do Conceito Preliminar de Curso (CPC), publicados pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), e se referem aos cursos de Engenharia Civil, Mecânica e de Produção. Salienta-se que os resultados do CPC foram obtidos no Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes (ENADE), realizados em 2008, 2011 e 2014. Este artigo apresenta uma comparação dos resultados obtidos nas distribuições do CPC nos três exames e sugere uma melhor análise do cálculo do CPC, visto que os resultados obtidos distorcem, em muito, os resultados que são obtidos unicamente pelo exame realizado pelos estudantes.

Keywords— Engenharia, ENADE, Conceito Preliminar de Curso (CPC)

I. INTRODUÇÃO

O planejamento adequado de uma política pública relacionada à educação brasileira passa pela análise de resultados de avaliação, supervisão e regulação dos cursos de graduação. No âmbito do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (SINAES), criado em abril de 2004, uma das formas de avaliação é o Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes (ENADE). Aplicado a cada ano por grupo, de áreas do conhecimento, o ENADE

propicia o estabelecimento do Conceito Preliminar de Curso (CPC), conforme indicado na seção 2 deste artigo.

A análise contida neste artigo refere-se aos resultados obtidos de distribuição do CPC nos cursos de Engenharia Civil, Mecânica e de Produção, no ENADE realizado em 2008, 2011 e em 2014. Os dados foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), no PORTAL INEP [1]. A comparação dos resultados obtidos de distribuição dos valores do CPC (de 1 a 5), nos exames de 2008 e 2011, identifica melhores resultados no ENADE de 2011, principalmente para os cursos de Engenharia Civil e Mecânica [2]. Já em 2014, os melhores resultados foram dos cursos de Engenharia Civil e de Produção.

Nada se pode afirmar se esses resultados podem ser atribuídos às alterações introduzidas no cálculo do CPC em 2011 e em 2014, ou se são devidos às melhorias introduzidas nesses cursos de Engenharia. Essa segunda possibilidade só poderá ser devidamente constatada nas avaliações *in loco* desses cursos. Entretanto, sugere-se uma melhor análise do cálculo do CPC, visto que os resultados obtidos, por exemplo, em 2014, distorcem em muito os resultados obtidos unicamente pelo exame realizado pelos estudantes.

II. METODOLOGIA DO CÁLCULO DO CPC – ENADE 2008, 2011 E 2014

Até o ano de 2010, a obtenção do Valor Contínuo do Conceito Preliminar de Curso (CPC) obedeceu a uma regra de ponderação (peso entre parênteses), aplicada aos seguintes oito itens [3]:

- 1) Nota dos Ingressantes no ENADE – NI (15%);
- 2) Nota dos Concluintes no ENADE – NC (15%);
- 3) Nota do Indicador de Diferença entre os Desempenhos Observado e Esperado – NIDD (30%);
- 4) Nota de Professores com Regime de Dedicação Integral ou Parcial – NPR (5%);
- 5) Nota de Professores Mestres – NM (5%);
- 6) Nota de Professores Doutores – ND (20%);
- 7) Nota de Infraestrutura – NF (5%);
- 8) Nota referente à Organização Didático-Pedagógica – NO (5%).

Portanto, avaliava o rendimento dos alunos (itens “1”, “2” e “3” – total de 60%), do corpo docente (itens “4”, “5” e “6” – total de 30%) e da infraestrutura e organização didático-pedagógica do curso (itens “7” e “8” – total de 10%).

No entanto, em face da ampliação de participação e consolidação do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), foi tomada a decisão de, a partir de 2011, dispensar os alunos ingressantes do ENADE. Sem essa nota (NI), algumas alterações de peso foram introduzidas e, na nota do CPC de 2011, o desempenho dos estudantes foi reduzido de 60% para 55% do total (a NIDD subiu de 30% para 35% e a NC subiu de 15% para 20%), a infraestrutura e organização didático-pedagógica aumentaram de 10% para 15% da nota (os valores da NF e NO passaram de 5% para 7,5%) e o corpo docente ficou mantido em 30%. Salienta-se, entretanto, que na nota dos docentes, o peso da quantidade de doutores (ND) foi reduzido de 20% para 15% do total, enquanto a dedicação integral/parcial (NPR) e a porcentagem de mestres (NM) passaram de 5% para 7,5% da nota. A Nota Técnica Nº 029, de 15/10/2012, explica, com detalhes, a obtenção de cada um dos sete itens considerados [4].

Para o ENADE de 2014, algumas alterações foram introduzidas no cálculo do CPC em relação ao ENADE de 2011, conforme indicado na Nota Técnica Daes/Inep nº 58/2015, de 27/10/2015 (INEP, 2015): o peso do NF caiu de 7,5% para 5% e foi introduzido o parâmetro NA (peso de 2,5%), que se refere às oportunidades de ampliação da formação acadêmica e profissional. A sigla NPR, referente ao Regime de Dedicação Integral ou Parcial foi substituída por NR (Regime de Trabalho). A Tabela I ilustra a composição do CPC para o ENADE de 2011 e 2014.

O resultado do CPC é, então, formado pela composição de oito (até 2010 e 2014) ou sete (2011) diferentes itens, normatizados para apresentarem valores entre 0,00 e 5,00, e ponderados com valores muito diferenciados, que, teoricamente, representam o seu grau de importância no resultado obtido. Os valores contínuos do CPC obtidos são truncados na segunda casa decimal (2008 e 2011) ou na terceira casa decimal (2014) e transformados em faixas de 1 a 5 (produzindo o valor discreto do CPC), conforme a correspondência resumida na Tabela II (INEP, 2009 e INEP, 2015).

Um fato que merece uma análise mais apurada pelo INEP diz respeito à ampla faixa definida para o CPC contínuo, fazendo com que resultados muito diferentes conduzam ao mesmo valor do CPC discreto. Por outro lado, a descontinuidade proporcionada pela tabela conduz a resultados discrepantes e prejudiciais aos cursos: por exemplo, um curso com CPC contínuo igual a 1,944 obteria o CPC = 2 (resultado insatisfatório, que provoca a ocorrência de avaliação compulsória *in loco* do curso e pode provocar uma possível redução de vagas do curso), enquanto que um curso com CPC contínuo igual a 1,945 receberia CPC = 3, que é considerado um resultado satisfatório. Há uma necessidade urgente de se repensar essa tabela de atribuição dos valores do CPC aos cursos. O exemplo acima é muito ilustrativo quanto ao enorme problema que esta avaliação produz em um curso, por uma diferença insignificante do valor do CPC contínuo (1,944 x 1,945: diferença de apenas 0,05%).

Na sequência, uma análise geral sobre os resultados do CPC e de sua distribuição nos cursos de Engenharia Civil, Mecânica e de Produção é apresentada para o ENADE de 2008, 2011 e de 2014.

III. ANÁLISE DOS DADOS DO CPC CONTÍNUO

Para essa análise, consideraram-se nove amostras referentes ao total de cursos do país nas modalidades de Engenharia Civil, Mecânica e de Produção e os resultados obtidos no ENADE de 2008, 2011 e de 2014, definidas pelos dados da Tabela III. Observa-se que as três amostras de 2011 e de 2014 sofreram acréscimos significativos em relação do total de cursos em 2008: (24,4% e 91,9% para os cursos de Engenharia Civil; 13,6% e 77,3% para os cursos de Engenharia Mecânica e 31,2% e 107,2% para os cursos de Engenharia de Produção). Com relação ao acréscimo em termos de instituições públicas no período de 2008 a 2014, os cursos de Engenharia Civil, Mecânica e de Produção apresentaram os seguintes percentuais de crescimento: 42,3%, 56,1% e 66,7%. Para as instituições privadas, o crescimento foi bem mais acentuado: 91,9%, 95,7% e 123,6%, respectivamente.

3.1. Distribuição dos cursos em relação aos valores do CPC discreto

Analisando-se os resultados das nove amostras objeto de análise, obtêm-se as distribuições de valores de CPC para os

TABELA I
COMPOSIÇÃO DO CPC E PESOS DAS SUAS DIMENSÕES E COMPONENTES.

Dimensão	Componentes		Pesos	
	2011	2014	2011	2014
Desempenho dos Estudantes	NC + NIDD	NC + NIDD	55%	55%
Corpo Docente	NM + ND + NPR	NM + ND + NR	30%	30%
Percepção Discente	NO + NF	NO + NF + NA	15%	15%

TABELA II
DISTRIBUIÇÃO DOS CONCEITOS.

Valor discreto do CPC	Valor contínuo do CPC - 2008 e 2011	Valor contínuo do CPC - 2014
1	0,00 a 0,94	0,000 a 0,944
2	0,95 a 1,94	0,945 a 1,944
3	1,95 a 2,94	1,945 a 2,944
4	2,95 a 3,94	2,945 a 3,944
5	3,95 a 5,00	3,945 a 5,000

TABELA III
CURSOS DE ENGENHARIA CIVIL, MECÂNICA E DE PRODUÇÃO – ENADE DE 2008, 2011 E 2014.

ENADE	Eng. Civil			Eng. Mecânica			Eng. Produção		
	Cursos Públicos/ Privados	Total		Cursos Públicos/ Privados	Total		Cursos Públicos/ Privados	Total	
2008	52	86	138	41	47	88	36	89	125
2011	65	107	172	46	54	100	43	121	164
2014	74	165	239	64	92	156	60	199	259

três cursos considerados (valores absolutos e em porcentagem), resumidas nas Tabelas IV, V e VI. Nestas tabelas, passa-se a considerar o CPC discreto (ver Tabela II), variando entre os valores inteiros de 1 a 5.

Graficamente, essas distribuições estão ilustradas nas Figuras 1 (Engenharia Civil), 2 (Engenharia Mecânica) e 3 (Engenharia de Produção).

Dos resultados apresentados nas Tabelas IV a VI e nas Figuras 1 a 3, podem-se enumerar as seguintes considerações:

- 1) Considerando a soma dos percentuais obtidos com as notas “4 e 5”, os cursos de Engenharia Civil, Mecânica e de Produção apresentaram valores acima de 20% nos três anos considerados. Os maiores valores foram obtidos em 2011 e

TABELA IV
DISTRIBUIÇÃO DO CPC NA ENGENHARIA CIVIL – ENADE DE 2008, 2011 E 2014.

Valor do CPC	Engenharia Civil					
	Distribuição			Distribuição (%)		
	2008	2011	2014	2008	2011	2014
5	5	6	3	3,6	3,5	1,3
4	30	46	61	21,7	26,7	25,5
3	65	88	147	47,1	51,2	61,5
2	38	32	27	27,6	18,6	11,3
1	0	0	1	0	0	0,4

TABELA V
DISTRIBUIÇÃO DO CPC NA ENGENHARIA MECÂNICA – ENADE DE 2008, 2011 E 2014.

Valor do CPC	Engenharia Mecânica					
	Distribuição			Distribuição (%)		
	2008	2011	2014	2008	2011	2014
5	5	3	4	5,7	3	2,6
4	16	35	29	18,2	35	18,6
3	42	56	88	47,7	56	56,4
2	23	6	34	26,1	6	21,8
1	2	0	1	2,3	0	0,6

TABELA VI
DISTRIBUIÇÃO DO CPC NA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENADE DE 2008, 2011 E 2014.

Valor do CPC	Engenharia de Produção					
	Distribuição			Distribuição (%)		
	2008	2011	2014	2008	2011	2014
5	5	5	4	4	3	1,5
4	27	39	59	21,6	23,8	22,8
3	67	81	159	53,6	49,4	61,4
2	25	38	37	20	23,2	14,3
1	1	1	0	0,8	0,6	0

corresponderam, respectivamente, a 30,2%; 38,0% e 26,8%;

- 2) Considerando a soma dos percentuais obtidos com as notas “1 e 2”, o curso de Engenharia Civil apresentou um decréscimo contínuo, passando de 27,6% em 2008 para 11,7% em 2014. A Engenharia de Produção reduziu o valor para 14,3% em 2014 e a Engenharia Mecânica teve o pior resultado em 2014: 22,4%;
- 3) Em 2014, os três cursos apresentaram distribuições em um formato considerado normal, o que não ocorreu em 2011 com o curso de Engenharia Mecânica – ver Figura 02.

3.2. Distribuição dos valores do CPC: sua atual metodologia de cálculo produz resultados coerentes?

A Tabela VII resume os dados das faixas das notas do ENADE dos Concluintes de 2014, correspondentes aos valores de CPC atribuídos aos três cursos analisados.

Da análise da Tabela VII verifica-se que os valores de CPC calculados em acordo com a metodologia apresentada

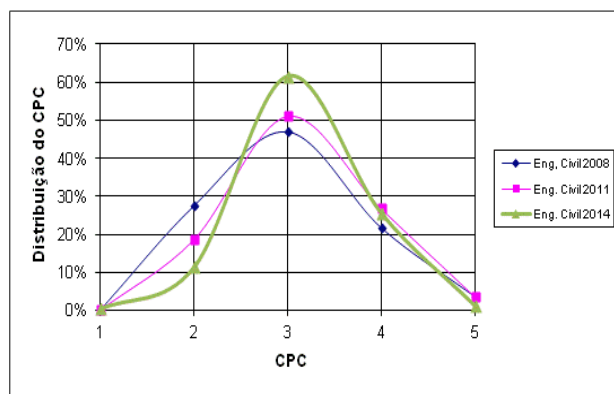


Figura 1. Distribuição do CPC na Engenharia Civil

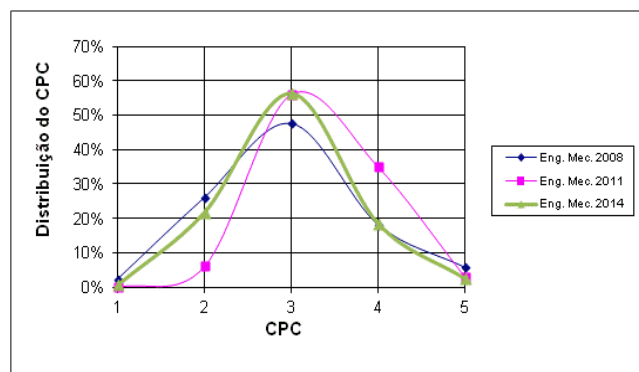


Figura 2. Distribuição do CPC na Engenharia Mecânica

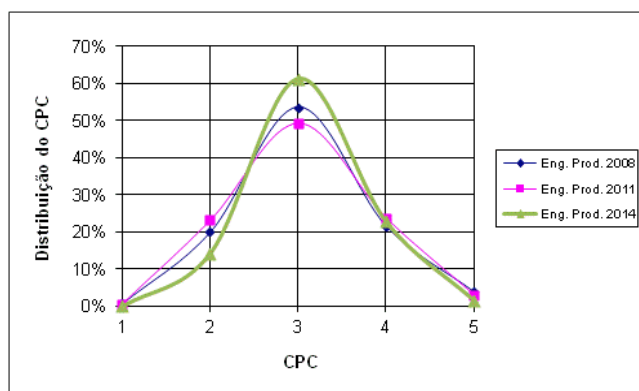


Figura 3. Distribuição do CPC na Engenharia de Produção

na seção 2 conduz a alguns resultados que necessitam ser mais bem analisados, visto que, por exemplo:

- 1) No curso de Engenharia Civil a nota do ENADE de 2,44 conduz a um valor de CPC = 2, enquanto a nota do ENADE de apenas 1,24 conduz a um CPC = 4;
- 2) No curso de Engenharia Mecânica a nota do ENADE de 2,54 conduz a um valor de CPC = 2, enquanto a nota do ENADE de apenas 2,04 conduz a um CPC = 4;
- 3) No curso de Engenharia de Produção a nota do ENADE de 1,93 conduz a um valor de CPC = 2, enquanto a nota do ENADE de apenas 1,47 conduz a um CPC = 4.

Esses exemplos mostram o quanto os itens adicionais à nota do ENADE alteram os resultados do CPC. Conforme descrito por Tozzi e Tozzi (2012), os autores consideram que as características do corpo docente, da infraestrutura e do projeto pedagógico de um curso já são avaliadas adequadamente na etapa de avaliação dedicada ao curso e, assim, não precisariam ser consideradas novamente no ENADE, que representa uma avaliação do desempenho do estudante.

Com essa consideração, parece-nos lógico afirmar que os valores do CPC deveriam ser exclusivamente proporcionais aos resultados obtidos pelo empenho dos estudantes em realizar a prova (nota do ENADE dos Concluintes), pois um melhor desempenho na prova está diretamente associado a um melhor aprendizado dos estudantes. Como explicar aos estudantes que melhores resultados no exame, obtidos com o empenho e dedicação deles em realizar a prova, não conduz, obrigatoriamente, aos melhores resultados atribuídos aos seus cursos?

Acredita-se que uma prova não seja a melhor forma de se avaliar os estudantes e atribuir conceito ao seu curso. Mesmo durante a realização de um curso, a prova não é considerada como a forma mais adequada de avaliação. Mas, se é assim que tem que ser, por que não considerar somente a nota do ENADE dos Concluintes para atribuir o conceito preliminar ao curso? Para se fazer isso, sugere-se trocar, na Tabela 2, o título “Valor Contínuo do CPC” por “Nota do ENADE dos Concluintes”. Assim, nos exemplos anteriores os resultados ficariam proporcionais às notas do ENADE e, portanto, mais consistentes com o desempenho efetivo dos estudantes:

- 1) No curso de Engenharia Civil a nota do ENADE de 2,44 conduziria a um valor de CPC = 3 (e não “2” no atual critério), enquanto a nota do ENADE de apenas 1,24 conduziria a um valor de CPC = 2 (e não “4” no atual critério);
- 2) No curso de Engenharia Mecânica a nota do ENADE de 2,54 conduziria a um valor de CPC = 3 (e não “2” no atual critério), enquanto a nota do ENADE de apenas 2,04 conduziria a um valor de CPC = 3 (e não “4” no atual critério);
- 3) No curso de Engenharia de Produção a nota do ENADE de 1,93 conduziria ao mesmo valor de CPC (“2”), enquanto a nota do ENADE de apenas 1,47 conduziria ao valor de CPC = 2 (e não “4” no atual critério).

A adoção desse critério, entretanto, traria como resultado geral um panorama nada agradável para a qualidade dos cursos, para o ENADE de 2014 – ver Tabela VIII (Engenharia Civil), IX (Engenharia Mecânica) e X (Engenharia de Produção).

Os percentuais dos cursos com notas “1” e “2” (insatisfatórios) passariam a ter valores substancialmente

superiores em relação à metodologia atual, atingindo 45,2%, 39,2% e 52,5% para os cursos de Engenharia Civil, Mecânica e de Produção, respectivamente. O que isso significa? Desinteresse dos estudantes em realizar a prova, evidência de uma má formação que estão recebendo ou uma prova que não mede o real conhecimento dos estudantes? Independente da resposta julgada a mais adequada, há muito que se examinar a respeito desses resultados. Não se pode afirmar que esses valores representam melhor a realidade da qualidade dos cursos, mas mostram, provavelmente, indícios sobre a necessidade de se reavaliar toda a metodologia que vem sendo aplicada ao ENADE.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo contempla a análise dos resultados obtidos de distribuição do CPC nos cursos de Engenharia Civil, Mecânica e de Produção, no ENADE realizado em 2008, 2011 e em 2014. O motivo da escolha desse parâmetro pelos autores reside no julgamento de se considerar como medida de qualidade, para essa avaliação, o que os alunos mostraram saber na parte do ENADE correspondente ao conhecimento de competências profissionais.

A comparação dos resultados obtidos de distribuição dos valores do CPC (de 1 a 5), nos exames de 2008, 2011 e 2014, identifica melhores resultados no ENADE de 2014, principalmente para os cursos de Engenharia Civil e de Produção. Resta saber se esses resultados podem ser atribuídos às alterações introduzidas no cálculo do CPC ou se são devidos às melhorias introduzidas nesses cursos de Engenharia, que só poderão ser verificadas na avaliação *in*

TABELA VII
FAIXAS DAS NOTAS DO ENADE E OS CORRESPONDENTES VALORES DO CPC – ENADE DE 2014.

CPC	Faixas das Notas do ENADE dos Concluintes - 2014		
	Eng. Civil	Eng. Mec.	Eng. Prod.
1	1,08	1,80	-
2	0,20 a 2,44	0,23 a 2,54	0,59 a 1,93
3	0,24 a 3,79	0,98 a 3,50	0,18 a 4,19
4	1,24 a 5,00	2,04 a 4,91	1,47 a 4,93
5	4,22 a 5,00	3,84 a 4,90	2,77 a 4,64

TABELA VIII
DISTRIBUIÇÃO DO CPC PELA METODOLOGIA ATUAL E PELA NOTA DO ENADE – ENGENHARIA CIVIL - ENADE DE 2014.

Valor do CPC	Eng. Civil (239 cursos: 74 públicos e 165 privados)			
	Distribuição		Distribuição (%)	
	Atual	ENADE	Atual	ENADE
5	3	10	1,3	4,2
4	61	46	25,5	19,2
3	147	75	61,5	31,4
2	27	88	11,3	36,8
1	1	20	0,4	8,4

TABELA IX
DISTRIBUIÇÃO DO CPC PELA METODOLOGIA ATUAL E PELA NOTA DO
ENADE – ENGENHARIA MECÂNICA - ENADE DE 2014.

Valor do CPC	Eng. Mecânica (156 cursos: 64 públicos e 92 privados)			
	Distribuição		Distribuição (%)	
	Atual	ENADE	Atual	ENADE
5	4	8	2,6	5,1
4	29	30	18,6	19,2
3	88	57	56,4	36,5
2	34	50	21,8	32,1
1	1	11	0,6	7,1

TABELA X
DISTRIBUIÇÃO DO CPC PELA METODOLOGIA ATUAL E PELA NOTA DO
ENADE – ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENADE DE 2014.

Valor do CPC	Eng. de Produção (259 cursos: 60 públicos e 199 privados)			
	Distribuição		Distribuição (%)	
	Atual	ENADE	Atual	ENADE
5	4	16	1,5	6,2
4	59	28	22,8	10,8
3	159	79	61,4	30,5
2	37	104	14,3	40,2
1	0	32	0	12,3

loco desses cursos.

Dessa análise, algumas considerações finais podem ser enunciadas:

- 1) Comparando-se as distribuições ilustradas nas Figuras 1 a 3, verifica-se que alterações positivas nos valores de CPC foram constatadas, ao longo dos três anos, nos três cursos de engenharia analisados. Salienta-se, entretanto, que as alterações produzidas nos cursos de Engenharia Mecânica foram bastante significativas no ano de 2011, diferentemente das modestas alterações verificadas nos cursos de Engenharia Civil e de Produção. Aparentemente, não há nenhuma evidência muito clara das causas que conduziram a esse comportamento tão

diferenciado. Em 2014, os cursos de Engenharia Mecânica voltaram a mostrar um comportamento de resultados compatíveis com os de 2008;

- 2) As Tabelas VIII a X identificam que os valores do CPC não resultam diretamente proporcionais aos resultados obtidos pelo empenho dos estudantes em realizar a prova (nota do ENADE dos Concluintes). Esta associação não nos parece adequada, pois um melhor desempenho na prova está diretamente associado a um melhor aprendizado dos estudantes e, consequentemente, deveria conduzir a um melhor valor de CPC. Logicamente isso não está ocorrendo devido aos parâmetros adicionais utilizados na metodologia atual que mascaram os resultados que poderiam se constituir nos mais representativos para o CPC, do ponto de vista do desempenho exclusivo dos estudantes. Para isso, sugere-se trocar, na Tabela II, o título “Valor Contínuo do CPC” por “Nota do ENADE dos Concluintes”. Essa mudança poderia conduzir a uma motivação ainda maior para os estudantes se comprometerem com a realização do exame. Passariam a ter consciência de que o seu esforço para obter o melhor resultado na prova traria, pela primeira vez, o melhor resultado para o seu curso;
- 3) Entretanto, a metodologia exposta no item anterior, reproduzida nas Tabelas VIII a X, conduz a elevados percentuais de cursos com conceito insatisfatório (CPC = 1 e 2). Seria essa a realidade do desempenho dos estudantes de Engenharia? Independente da resposta, acredita-se que essas significativas alterações trazem indícios sobre a necessidade de se reavaliar a metodologia que vem sendo aplicada ao ENADE;
- 4) O Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (SINAES) engloba três tipos de avaliação: a da Instituição, cujo parâmetro é o Índice Geral de Cursos (IGC); a do Curso, cujo parâmetro é o Conceito do Curso (CC) e a dos Estudantes, cujo parâmetro é o Conceito Preliminar de Curso (CPC). A publicação isolada do CPC não deve refletir a avaliação pretendida pelo SINAES; na maioria das vezes, pode até vir a distorcer a visão do resultado global da IES e de seus cursos. Sugere-se que a divulgação dos resultados do CPC venha acompanhada dos valores do CC e do IGC. A análise dos três parâmetros em conjunto deve refletir melhor a verdadeira grandeza do SINAES e deverá mostrar a realidade que a sociedade precisa conhecer da IES e dos seus respectivos cursos.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. PORTAL INEP. <http://portal.inep.gov.br/planelhas-enade>. Acesso em 21.12.2015.
- [2] TOZZI, M.; TOZZI, A. Cursos de Engenharia Civil, Mecânica e de Produção: comparação dos Conceitos Preliminares de Curso obtidos nos Enades de 2008 e de 2011. In: XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE 2013), Anais... Gramado, RS. 2013.
- [3] INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Brasília - Brasil. “Nota Técnica sobre o Cálculo do Conceito Preliminar de Curso (CPC)”. 2009.
- [4] INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Brasília - Brasil. “Nota Técnica Nº 029, de 15 de outubro de 2012, sobre o Cálculo do Conceito Preliminar de Curso (CPC) referente ao ano de 2011”. 2012.
- [5] INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Brasília - Brasil. “Nota Técnica Daes/Inep nº 58/2015, de 27 de outubro de 2015, sobre o Cálculo do Conceito Preliminar de Curso de 2014”. 2015.
- [6] TOZZI, M.; TOZZI, A. Cursos de Engenharia Civil, Mecânica e de Produção: uma proposta simplificada para o cálculo do Conceito Preliminar de Curso. In: XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE 2012), Anais... Belém, Pará. 2012.



Marcos José Tozzi recebeu o título de Mestre em Engenharia pela Universidade da Califórnia (1981) e de Doutor em Engenharia pela Universidade de São Paulo (1992).

Foi Engenheiro da Companhia Paranaense de Energia - COPEL, de 1975 a 1998; Professor da Universidade Federal do Paraná, de 1975 a 2008; Vice-Diretor do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, de 1994 a 1998; Superintendente da Coordenação de Pesquisa da COPEL, de 1986 a 1998; Diretor do Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza – CEHPAR, de 1990 a 1998 e Diretor Acadêmico da Universidade Positivo, de 1999 a 2010. Foi Vice-Presidente da Associação Brasileira de Educação em Engenharia – ABENGE, de 2011 a 2016. Atualmente é Sócio da Empresa Tozzi Engenharia e Consultoria Ltda. e membro da Comissão de Especialistas de Engenharia do convênio MEC/CONFEA. É autor de 118 artigos publicados nas áreas de Engenharia Civil e de Educação em Engenharia. É autor de um livro na área de Engenharia Civil, de um capítulo de livro em Engenharia Hidráulica e de seis capítulos de livros na área de Educação em Engenharia. É organizador de sete livros na área de Educação em Engenharia.



Adriana Regina Tozzi recebeu o título de Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRGS (2004). Atuou em Implantação e Gerenciamento de Sistema de Qualidade em Obras Industriais, principalmente na área de instalações hidráulicas, elétricas e de prevenção contra incêndio, na REPAR (Petrobrás), AAM do Brasil, Renault do Brasil, Siemens e CISA/CSN, todas na região metropolitana de Curitiba, Paraná. Professora das disciplinas de Construção Civil, Estatística Aplicada, Ferramentas da Qualidade e Cálculo Diferencial e Integral. Atualmente é Sócia da Empresa Tozzi Engenharia e Consultoria Ltda. e Coordenadora do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Autônomo do Brasil - UniBrasil.

Capítulo 2

A Inclusão do Ensino da Acessibilidade na Formação do Engenheiro Civil

Dione Luiza da Silva, Regina Lúcia Melo de Oliveira, Deborah Grasielly Cipriano da Silva, Juliana Maria McCartney da Fonseca, Marcílio André Felix Feitosa

Title—Inclusion of topics about accessibility in civil engineering courses

Abstract—This paper aims to verify the necessity of to include in the formation of the civil engineer the teaching of accessibility. It is known that the ‘Brazilian Law of Persons with physical Disabilities’ states that in the building project design should be inserted accessibility elements that give these people the possibility and condition of use with security and autonomy of the buildings. Knowing that the Civil Engineer is responsible for the implementation of projects of the buildings, it is understood that it is important for this professional technical knowledge of accessibility, for the enforcement of the law. Therefore, we carried out an analysis of the curriculum of civil engineering degrees from three universities of federal, state and private categories in order to identify the importance given to this issue in the training of its graduates. Later, it was applied a questionnaire to students of these universities, aiming to know their perception, as the knowledge of the subject and check the need to include it in the curriculum of their course. Therefore, the inclusion of a specific discipline of accessibility in the curriculum of courses in Civil Engineering has been suggested, with elaborate program based on Brazilian standard of accessibility.

Keywords— Accessibility, Civil Engineering, Formation, Teaching

Resumo— O presente trabalho visa verificar a necessidade de incluir na formação do Engenheiro Civil o ensino da acessibilidade. Sabe-se que a Lei Brasileira de Pessoas com Deficiência Física estabelece que, na concepção do projeto das edificações, deve ser inserido elementos de acessibilidade que proporcionem a essas

possibilidade e condição de utilização com segurança e autonomia das edificações. Sabendo-se que o Engenheiro Civil é responsável pela execução dos projetos das edificações, entende-se que é importante para esse profissional o conhecimento técnico da acessibilidade, com vistas ao cumprimento da Lei. Diante disso, realizou-se uma análise da grade curricular dos cursos de engenharia civil de três universidades das categorias federal, estadual e privada, a fim de identificar a importância que é dada a esse tema na formação dos seus egressos. Posteriormente, aplicou-se um questionário aos estudantes dessas universidades, visando conhecer a percepção destes, quanto ao conhecimento do assunto e verificar a necessidade de incluí-lo na grade curricular do seu curso. Por conseguinte, foi sugerido a inserção de uma disciplina específica de acessibilidade na grade curricular dos cursos de Engenharia Civil, com ementa elaborada tendo como base a Norma Brasileira de acessibilidade

Palavras-chave— Acessibilidade, Engenharia Civil, Formação, Ensino

I. INTRODUCTION

Acessibilidade é definida, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na Norma NBR 9050 de 2004, como a “possibilidade e condição de alcance, percepção e entendimento para a utilização com segurança e autonomia de edificações, espaço, mobiliário, equipamento urbano e elementos”. Essa mesma norma estabelece critérios e parâmetros técnicos a serem observados quando do projeto, construção, instalação e adaptação de edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos às condições de acessibilidade. No entanto, observa-se que tem sido pouco abordado esse assunto nas salas de aula dos cursos de Engenharia Civil, o que é uma deficiência do sistema, visto a responsabilidade do profissional da área na

Este trabalho foi apresentado originalmente no XLIV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE2016), 27-30 de setembro de 2016, UFRN / ABENGE, Natal, Brasil.

Dione Luiza da Silva pertencente ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade Pernambuco, Campus Benfica, 3184-7566, Recife, Brasil (e-mail: dione_luiza@hotmail.com).

Regina Lúcia Melo de Oliveira pertencente ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, 2126-8000, Recife, Brasil (e-mail: rlmo_pec@poli.br).

Deborah Grasielly Cipriano da Silva pertencente ao Programa de Pós-

graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade Pernambuco, Campus Benfica, 3184-7566, Recife, Brasil (e-mail: deborahgrasielly@yahoo.com.br).

Juliana Maria McCartney da Fonseca pertenceu ao Programa de graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade Pernambuco, Campus Benfica, 3184-7566, Recife, Brasil (e-mail: mccartney.juliana@gmail.com).

Marcílio André Félix Feitosa, Prof. Dsc. do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas da Escola Politécnica da Universidade Pernambuco, Campus Benfica, 3184-7513, Recife, Brasil (e-mail: marcilio@poli.br).

execução dos projetos das edificações, exigindo que, no mínimo, esse profissional, saiba identificar os elementos de acessibilidade contidos nos projetos.

Sabe-se que esse assunto é abordado com maior ênfase nos cursos de Arquitetura, porém, não pode ser negligenciado nos cursos de Engenharia Civil, visto que os dois profissionais trabalham conjuntamente.

Face ao exposto, verifica-se a necessidade de incluir na formação do Engenheiro Civil este conteúdo, a fim de minimizar a inacessibilidade das futuras edificações e fomentar a sustentabilidade social para os cidadãos que apresentam tais limitações. O artigo aborda a inclusão da discussão da acessibilidade na grade curricular dos cursos de Engenharia Civil, tendo como estudo de caso os cursos oferecidos nas principais universidades da capital pernambucana (Recife), visando sugerir aos colegiados desses cursos a inserção de novas disciplinas e/ou melhorias nas já existentes. Analisou-se os conteúdos ministrados nos cursos de Engenharia Civil dessas universidades pernambucanas, através de uma coleta de dados nos sites dessas universidades. Também foi estimado o grau de conhecimento sobre o assunto dos engenheiros em formação, através da aplicação de questionários, tomando como base a NBR 9050 (2004). Por fim apresentou-se uma proposta de ementa de uma nova disciplina (de carga horária a ser definida por cada colegiado), a ser incluída nos Projetos Pedagógicos dos Cursos (PPC's). Esta disciplina pode ser ofertada tanto na forma presencial como via EAD e deve abordar os critérios estabelecidos na referida norma.

II. ACESSIBILIDADE NA LEGISLAÇÃO

A elaboração de projetos de edificações futuras e readaptação de estruturas antigas para que se tornem acessíveis a todas as pessoas deve partir da premissa que o bem deve ser usufruído de forma democrática. Isso diz respeito à garantia dos direitos humanos que, conforme estabelece a Constituição Federal de 1988, cabe à sociedade e ao Estado efetivá-los, e cujas diretrizes estão fundamentadas nos princípios da dignidade da pessoa humana, da igualdade, da inclusão social e da liberdade de locomoção. Tudo isso deve ser levado em consideração na acessibilidade, uma vez que constituem o alicerce para que o indivíduo viva e se desenvolva de forma digna no meio no qual está inserido..

Para o Instituto Brasileiro dos Direitos da Pessoa com Deficiência (IBDD, 2008), argumentar sobre a acessibilidade reflete-se em discutir cidadania e democracia, inclusão social e respeito às diferenças.

A acessibilidade nas edificações encontra-se assegurada por meio da Lei nº 10.098/2000, do Decreto 5.296/2004 e da Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015, que institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Todas legislações caracterizam aspectos gerais e os critérios elementares para promover meios para acessibilidade de indivíduos com deficiência ou mobilidade reduzida, de forma a eliminar barreiras físicas que dificultem, limitem ou impeçam o acesso, a liberdade de movimento e a circulação de pessoas. A Lei nº 10.098 trata, no que diz respeito diretamente à formação do Engenheiro Civil, de questões sobre acessibilidade em:

- Elementos de urbanização, que são quaisquer componentes de obras de urbanização, tais como os

referentes a pavimentação, saneamento, encanamento para esgotos, distribuição de energia elétrica e de gás, iluminação pública, serviços de comunicação, abastecimento e distribuição de água, paisagismo e os que materializam as indicações do planejamento urbanístico;

- Mobiliário urbano, que é o conjunto de objetos existentes nas vias e nos espaços públicos, superpostos ou adicionados aos elementos de urbanização ou de edificação;
- Edifícios públicos ou de uso coletivo (incluindo garagens, acessos sem barreiras ou obstáculos, banheiros, etc.);
- Edifícios de uso privado.

Por sua vez, as normas se designam por especificações técnicas aprovadas pela Organização de Normas Internacionais (ISO) que se fundamenta nos resultados oriundos da tecnologia, da ciência e de experimentos, cuja implantação é de significativa importância para que a uniformidade nacional seja assegurada (BAHIA et al., 1998).

A NBR 9050 (2004) é a norma que sistematiza os critérios e parâmetros técnicos de acessibilidade a serem considerados no projeto, construção, instalação e adaptação de edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, sob óticas diversas de mobilidade e percepção do ambiente, com ou sem ajuda de aparelhos auxiliares como as cadeiras de rodas ou qualquer outro que venha a complementar as necessidades individuais de forma a abranger o maior quantitativo de usuários, independentemente da idade, da limitação e da estatura para que estejam de maneira autônoma e segura no ambiente.

A norma citada abrange especificações diversas para os mais variados ambientes, a saber: acessibilidade, adoção de desenho universal, definições de barreiras arquitetônicas, dimensionamento com base nas medidas da cadeira de roda, o que inclui também a área necessária para que haja manobra, sinalizações diversas, como piso tátil e braille (sinalizações horizontais e verticais), premissas para o dimensionamento de corredores, escadas e rampas, especificações para os deslocamentos vertical e inclinado, como elevadores e esteiras, estacionamentos e banheiros.

Mesmo com toda a exigência legislativa vigente, segundo dados da pesquisa “Condições de vida das pessoas com deficiência no Brasil”, realizada pelo DataSenado, com 10.273 pessoas com deficiência em todas as regiões do Brasil, em 2010, no quesito “inclusão no acesso à mobilidade urbana”, ficou claro a deficiência na infraestrutura urbana para atender aos que têm deficiência e dificuldade de locomoção, especialmente nos edifícios. A pesquisa mostrou que, para os usuários, os edifícios não se encontram adaptados e os prédios públicos estão mais adaptados do que os estabelecimentos comerciais. Além disso, a pesquisa mostrou que 4 a cada 10 pessoas já deixaram de ir a algum lugar por falta de infraestrutura adequada (adaptação). Fatos estes que infringem os princípios fundamentais dos direitos humanos, citados anteriormente, segregando os indivíduos, pondo-os em condições de desvantagem.

III. A ACESSIBILIDADE NA ATUAL FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO CIVIL

A aprovação da Lei nº 9.394/1996, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), ocasionou para o ensino

de nível superior brasileiro uma maior liberdade na composição da carga horária (CNE/CES nº 67/2003) e na determinação das unidades de estudos a serem ministradas pelas Instituições de Educação Superior (IES), observando as diretrizes gerais pertinentes. A citada lei estabeleceu que os cursos superiores de graduação seriam organizados com base em Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN), que são orientações para a elaboração dos currículos de cursos superiores. A Resolução CNE/CES nº 11/2002, específica para a área de engenharia, determina que os currículos de engenharia devem ser divididos em três núcleos de conteúdo: básicos, profissionalizantes e específicos, com extensões e aprofundamento de conteúdos profissionalizantes.

Este último grupo engloba a proposta deste artigo para a inclusão, nos cursos de Engenharia Civil das principais Universidades de Pernambuco, de uma disciplina que aborde tanto as legislações envolvidas como as normas que regem os projetos de forma a garantir a acessibilidade a edificações, mobiliários, espaços e equipamentos urbanos. Sendo então um aprofundamento e um complemento para as tradicionais disciplinas que abordam o tema.

Em buscas realizadas na internet, nas páginas oficiais dos cursos de Engenharia Civil de várias universidades do país, observou-se que a grande maioria, incluindo aí várias das mais tradicionais, bem conceituadas pelo MEC e consideradas como melhores universidades pelo Guia do Estudante, não oferecem nenhuma disciplina que tenha o tema acessibilidade como foco principal. Entre as universidades pesquisadas podemos citar: USP, UNICAMP, UFC, UFMG, UFPA e PUCPR. Observa-se que os cursos de Arquitetura abordam com maior ênfase essa temática, porém, não é prudente negligenciar esse conteúdo na formação do Engenheiro Civil, visto a responsabilidade desse profissional na execução dos projetos das edificações que, pela Lei Nº 13.146, de 6 de julho de 2015, Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência), devem cobrir aspectos de acessibilidade.

Esta inserção de noções de acessibilidade na grade curricular dos cursos de Engenharia Civil, beneficia a comunidade da construção civil, bem como a sociedade no geral. Permitindo ao aluno egresso maior conhecimento técnico sobre o tema, consequentemente maior qualidade na elaboração de projetos, detalhamento executivo, execução e definição de acabamentos, assim como facilitando a aprovação de financiamentos e recebimento destas obras. Surgindo um profissional com uma habilitação diferenciada, com foco nos tópicos de planejamento urbano e planejamento regional no âmbito da Engenharia Civil, constantes nos Campos de Atuação Profissional do sistema CONFEA/CREA (CONFEA, 2005).

Além de tudo isso, a inserção também atende às demandas da sociedade, garantindo profissionais aptos a resolver os problemas de acessibilidade em um país em que 6,2% da população apresenta algum tipo de deficiência (IBGE, 2015) e que segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde) verá o número de idosos quase triplicar até 2050 (ZHVIDA, 2015). Esta visão social é destacada na Resolução CNE/CES nº 11, que determina como objetivo dos cursos de graduação em engenharia uma formação generalista, humanista, crítica e reflexiva, que estimule o aluno a atuar criticamente e de forma criativa na identificação e resolução de problemas,

considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais.

IV. METODOLOGIA

O problema em questão, a falta de orientações sobre acessibilidade nos cursos de Engenharia Civil, foi abordado por diferentes métodos. Inicialmente se pesquisou o que a legislação exige sobre acessibilidade, as normas que deveriam reger as construções e o que é exigido pelo MEC como obrigatório de ser abordado. Em seguida foi realizada a análise da grade curricular de cursos de graduação. Como estudo de caso, foi realizada uma pesquisa em três das principais Universidades do estado de Pernambuco, de forma representativa às categorias Federal, Estadual e Privada. Inicialmente foi discutido o tipo de informações que se gostaria de saber e então elaborados os questionários. Esses questionários foram aplicados tanto através de um site específico (onde os estudantes foram abordados em redes sociais e solicitados a responder o questionário), como de forma presencial nas universidades. Foram coletados 100 questionários de cada universidade pois a adesão online foi bem abaixo do esperado. A pesquisa foi realizada com o intuito de se observar a importância dada pelos alunos de Engenharia Civil à acessibilidade na sua formação enquanto engenheiros civis e a percepção destes ao tema. Os dados coletados foram então analisados e os resultados serão exibidos adiante.

A análise da grade curricular dos cursos de Engenharia Civil das universidades estudadas foi realizada com o intuito de que se observasse a existência de disciplinas que abordavam de forma direta ou indireta a acessibilidade na formação dos engenheiros.

Para isso lançou-se mão das matrizes curriculares oficiais dos cursos de Engenharia Civil disponibilizadas pelas universidades. Para a análise das ementas do curso da UFPE utilizou-se o Perfil Curricular 3139-1 (2013), da UPE utilizou-se o Projeto Pedagógico CV012 (2012) e para a análise da UNICAP observou-se as disciplinas constantes no Currículo 49A7 (2013) e as ementas em vigor, disponíveis no site da instituição.

Inicialmente foi realizada a análise das ementas das disciplinas citadas nos questionários. Nessa análise, observou-se que os estudantes da Universidade Federal citaram 4 disciplinas, os universitários da Estadual citaram 8 e os alunos da Universidade privada citaram 7, como sendo as disciplinas que abordaram o assunto ao longo do curso. Dentre as mais citadas estavam as disciplinas relacionadas à arquitetura, desenho, sociologia e segurança do trabalho.

Além da análise das disciplinas citadas, o estudo se estendeu as demais matérias das grades curriculares. A partir dos conceitos de acessibilidade definidos na legislação pertinente, foram detectadas e analisadas as disciplinas que mantinham relação com os conceitos de acessibilidade.

Os questionários foram elaborados a partir da análise das Leis, Resoluções e Normas Brasileiras referentes à acessibilidade. Foram criados a partir da ferramenta “Google Forms” na forma de formulários eletrônicos vinculados diretamente a um e-mail específico da pesquisa. Organizado de forma objetiva e sequencial, o questionário continha uma mensagem inicial explicando o projeto e em sequência 9

(nove) questões, sendo as iniciais para a identificação do curso e da IES, e as seguintes voltadas à importância da acessibilidade na formação dos engenheiros.

Dentre as questões que foram avaliadas, pode-se destacar: o conhecimento a respeito da acessibilidade; qual o grau de importância a abordagem da acessibilidade aos cursos de engenharia civil; quais disciplinas da matriz curricular de engenharia civil abordam o tema da acessibilidade; e por fim, se havia interesse dos entrevistados em cursar alguma disciplina que abordasse as diretrizes da NBR 9050 (2004), referente à acessibilidade.

Quanto à aplicação dos questionários, estes foram distribuídos em abordagem pessoal e divulgados em grupos fechados, em redes sociais, específicos às respectivas Universidades de forma direcionada aos alunos e profissionais da área.

Ao passo que foi atingido o número esperado de questionários respondidos, os dados foram compilados e organizados em planilhas do Microsoft Excel. A isso seguiu-se a análise das respostas. Por fim, buscou-se definir a percepção dos alunos e profissionais a respeito do tema e importância do assunto.

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A. Análise da Grade Curricular

De acordo com as respostas obtidas nos questionários, analisou-se a matriz curricular dos cursos de engenharia civil nas Universidades públicas e privadas, e se observou referências a conceitos ligados à acessibilidade nas disciplinas listadas na Tabela I.

Quanto à análise dos projetos pedagógicos das universidades em estudo, não foi encontrado o termo “acessibilidade” em nenhuma das ementas das disciplinas. No entanto, as disciplinas de Arquitetura, Arquitetura e Urbanismo e Planejamento Urbano das três universidades possuem tópicos em suas ementas que abrangem o conteúdo de acessibilidade. Cita-se, entre outros temas, a organização do espaço físico, os equipamentos urbanos, as condicionantes físicas e legais e determinações das legislações municipais. Também foram observadas nas respostas dos questionários algumas disciplinas como: Português Instrumental, Sociologia e Meio Ambiente, Sociologia Aplicada à Engenharia, Engenharia de Segurança, Transportes Urbanos, Materiais de Construção e Construção Civil que não possuem tópicos específicos sobre acessibilidade em suas ementas, mas abordam o tema através da apresentação de seminários ou contextualização dos temas próprios de suas disciplinas. Por exemplo, a disciplina de Materiais de Construção pode expor os materiais utilizados para a construção de locais acessíveis como, os pisos táteis e pisos antiderrapantes. Deve-se ressaltar a importância destes trabalhos que já introduzem o tema ao aluno.

Outras disciplinas relacionadas no questionário, como Desenho Técnico e Expressão Gráfica, não possuem em suas ementas tópicos que abordem as condicionantes físicas do espaço ou legislações de obra, mas tratam da representação gráfica de projetos, podendo expor as convenções de projeto dispostas na NBR 9050 (2004).

Por fim, foram analisadas as demais disciplinas dos três cursos, mas não se conseguiu fazer associação destas à acessibilidade. Provavelmente, devido à maioria das disciplinas do curso possuírem uma temática bem específica,

como: teoria das estruturas, hidráulica, instalações prediais, entre outras. Mas vale ressaltar que a menção à acessibilidade nestas disciplinas também é válida. A interdisciplinaridade deve estar presente na formação dos engenheiros lançados ao mercado, fazendo com que o profissional possua uma visão mais ampla e completa, e esteja capacitado a atuar seja qual for o contexto.

B. Análise dos Questionários

A pesquisa contou com 331 respostas, sendo 300 de alunos do ciclo profissional (variando do 5º ao 10º período) e 31 de profissionais. Dentre as Universidades, responderam ao questionário 100 alunos da Federal, 100 da Estadual e 100 da Universidade Privada, portanto se analisou de forma igual e comparativa as três Instituições de Ensino Superior. Levando-se em conta que todos consideram a importância do ensino da acessibilidade nos cursos de engenharia, segue a análise das respostas obtidas.

Dentre os profissionais entrevistados, 100% garantiu conhecer o termo acessibilidade e acham importante sua abordagem nos cursos de engenharia civil. Desses profissionais, 32,3% disseram que durante sua formação tiveram ao menos uma disciplina abordando o tema, na maioria das vezes a disciplina de Arquitetura. No entanto, em pergunta específica a respeito da inclinação de uma rampa hipotética, apenas 3 dos profissionais entrevistados responderam de forma correta, qual seria a inclinação recomendada para uma rampa de acesso, portanto, se observa que conceitos básicos não foram assimilados.

Quanto ao interesse em cursar uma disciplina que abordasse acessibilidade, entre os profissionais apenas 12,9% disseram não ter interesse. De fato, apenas uma pequena parcela dos, porém acredita-se que este índice pode ser ainda menor, considerando que a questão não se aprofunda sobre como ou quando seria tal disciplina. Talvez, para profissionais, uma pergunta como “-Você gostaria de ter cursado uma disciplina que abordasse o tema Acessibilidade?” teria uma aceitação ainda maior.

Dentre os 300 alunos entrevistados 97,3% afirmaram conhecer o significado da acessibilidade e 94,6% consideram importante a abordagem da acessibilidade nos cursos de engenharia civil. A fim de que se identificasse, por parte dos

TABELA I
DISCIPLINAS QUE ABORDARAM CONCEITOS DE ACESSIBILIDADE,
SEGUNDO OS ALUNOS ENTREVISTADOS.

Estadual	Federal	Particular
Arquitetura	Arquitetura e Urbanismo	Arquitetura e Urbanismo
Engenharia de Segurança	Desenho Técnico	Desenho Técnico Assistido por computador
Expressão Gráfica	Transportes Urbanos	Materiais de Construção Civil 2
Planejamento Urbano	Engenharia de Segurança do Trabalho	Construção Civil
Sociologia e Meio Ambiente		Segurança e Higiene do Trabalho
Português Instrumental		Projeto Arquitetônico
Desenho Técnico		Sociologia Aplicada à Engenharia

alunos, a existência do conhecimento ao tema, foram apresentadas duas questões de cunho analítico, sendo uma a respeito do domínio dos entrevistados às diretrizes da ABNT NBR 9050 (2004) e outra com aplicação de questão prática relacionada a rampas com desnível. Das respostas observou-se que a maioria dos alunos (mais de 76%) afirmou não conhecer a NBR referente a acessibilidade (Fig. 1) e 83% assinalaram resposta incoerente ou declaram não saber qual seria a inclinação das rampas. Considerando que o desconhecimento à NBR e as respostas inadequadas à questão sobre a rampa foram predominantes nas três IES, fica claro o despreparo dos alunos de engenharia civil quanto à acessibilidade, independente de qual seja o tipo de Universidade, pública ou privada.

Baseado nos dados e considerando que os engenheiros civis são agentes diretos na construção e reforma do espaço público, as IES têm lançado ao mercado uma quantidade considerável de profissionais inaptos a atenderem às necessidades básicas das pessoas com mobilidade reduzida. Na intenção de observar o interesse dos alunos à aprendizagem do tema, ao final do questionário foi proposta uma questão de identificação ao interesse do entrevistado em cursar uma disciplina que abordasse a acessibilidade, conforme ilustra a Fig. 2.

Das respostas pode-se perceber, que a apesar da ausência de conhecimento A respeito do tema, em média 87,8% dos alunos, das três Universidades, demonstraram interesse em cursar a disciplina e conhecer as diretrizes da ABNT NBR 9050 (2004).

Esta última questão, apresentou a visão receptiva dos estudantes ao assunto da acessibilidade, apontando para uma maior conscientização desta classe às necessidades de mobilidade pública independente de qual seja a limitação de mobilidade ou percepção dos cidadãos.

VI. A DISCIPLINA PROPOSTA: A ACESSIBILIDADE EM ENGENHARIA CIVIL

Visando a elaboração de uma proposta de disciplina que tenha como foco principal as diretrizes prescritas na ABNT NBR 9050 (2004), realizou-se uma busca pelos Projetos Pedagógicos dos principais cursos de Engenharia do País para verificar se estes projetos oferecem uma disciplina de acessibilidade que trate da norma supracitada, no entanto, não foi encontrada nenhuma disciplina, com foco na norma, o que foi encontrado foram disciplinas que tratam do tema em questão, porém de forma superficial. Por conseguinte, foi elaborado uma proposta de ementa de disciplina tendo como foco principal a norma de acessibilidade, para ser inserida nos PPCs de Engenharia civil, visando oferecer a estes profissionais um conteúdo aprimorado do assunto. Cabe ressaltar que, este é apenas um modelo de ementa, sua inserção nos PPCs deverá ser discutida em pleno, conforme padrão de cada Universidade. A ementa da disciplina consistiria, basicamente, na seguinte estrutura demonstrada na Tabela II. Quanto à carga horária da disciplina, vai depender da decisão de cada pleno, que devem decidir, inclusive, sobre a modalidade de oferta (presencial ou via EAD) e a existência ou não de atividades práticas (visitas técnicas por exemplo).

VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, e considerando a população de Universidades do Estado de Pernambuco, pode-se constatar que independente de classificação, pública ou privada, as Universidades do estado em geral, apresentam defasagem na formação dos engenheiros civis, tendo em vista sua pequena ou ausente abordagem acessível em sua graduação.

Baseado nos dados sugere-se que a relação da acessibilidade em disciplinas já existentes ou a inserção de disciplina específica ao assunto na grade curricular de engenharia civil, contaria com apoio dos estudantes, sejam de Universidades públicas ou privadas.

Considerando a grande responsabilidade das Instituições de Ensino Superior na formação de engenheiros civis, agentes da construção e reforma do espaço público, há de se considerar a necessidade da revisão das matrizes curriculares das IES que ainda não abordam os conceitos acessíveis em sua grade, de modo que se assegure ao estudante de engenharia civil os conhecimentos básicos necessários à construir e reformar de modo a cumprir o objetivo da ABNT NBR 9050 (2004) respeitando a utilização de maneira autônoma e segura do ambiente, edificações, mobiliário, equipamentos urbanos, não ferindo a constituição brasileira, que em Carta Magna (artigo 5º, XV) prescreve o direito de ir e vir, também

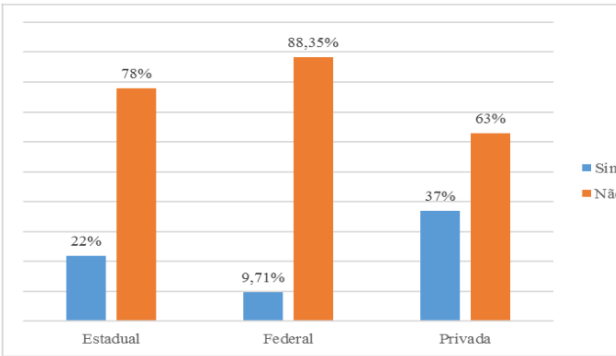


Fig. 1. Conhecimento sobre a NB

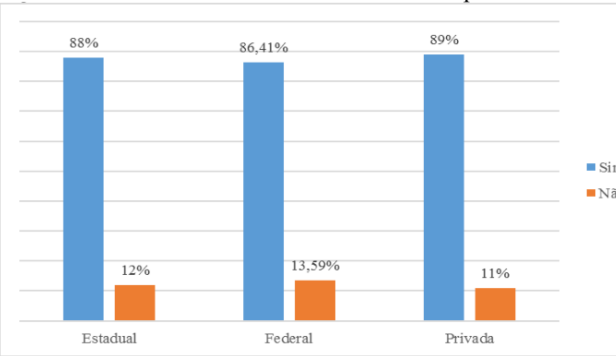


Fig. 2. Interesse dos alunos em cursar disciplina de acessibilidade

TABELA II DISCIPLINA SUGERIDA DE ACESSIBILIDADE			
TURMA	DISCIPLINA	CRÉDITOS TEÓRICOS	CRÉDITOS PRÁTICOS
Engenharia Civil	Acessibilidade	Ver texto	Ver texto
Ementa	Definições, legislação e normas brasileiras, parâmetros antropométricos, comunicação e sinalização, acesso e circulação, sanitário e vestiários, equipamentos urbanos, mobiliário e projetos acessíveis.		

garantido a todo cidadão pela Declaração dos Direitos Humanos da ONU, assinada em 1948.

VIII. CONCLUSÃO

Diante do exposto, e considerando a população de Universidades do Estado de Pernambuco, pode-se constatar que independente de classificação, pública ou privada, as Universidades do estado em geral, apresentam defasagem na formação dos engenheiros civis, tendo em vista sua pequena ou ausente abordagem acessível em sua graduação.

Baseado nos dados sugere-se que a relação da acessibilidade em disciplinas já existentes ou a inserção de disciplina específica ao assunto na grade curricular de engenharia civil, contaria com apoio dos estudantes, sejam de Universidades públicas ou privadas.

Considerando a grande responsabilidade das Instituições de Ensino Superior na formação de engenheiros civis, agentes da construção e reforma do espaço público, há de se considerar a necessidade da revisão das matrizes curriculares das IES que ainda não abordam os conceitos acessíveis em sua grade, de modo que se assegure ao estudante de engenharia civil os conhecimentos básicos necessários à construir e reformar de modo a cumprir o objetivo da ABNT NBR 9050 (2004) respeitando a utilização de maneira autônoma e segura do ambiente, edificações, mobiliário, equipamentos urbanos, não ferindo a constituição brasileira, que em Carta Magna (artigo 5º, XV) prescreve o direito de ir e vir, também garantido a todo cidadão pela Declaração dos Direitos Humanos da ONU, assinada em 1948.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos estudantes e profissionais que responderam o questionário e às instituições que disponibilizaram suas ementas para a realização deste trabalho

REFERENCES

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. ABNT NBR 9050 - Acessibilidade de pessoas portadoras de deficiência a edificações, espaço, mobiliário e equipamento urbano. Rio de Janeiro, 2004.

- [2] INSTITUTO BRASILEIRO DOS DIREITOS DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA. Inclusão social da pessoa com deficiência: medidas que fazem a diferença – Rio de Janeiro: IBDD, 2008.
- [3] BRASIL. Lei nº. 10.098, de 19 de Dezembro de 2000. Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L10098.htm. Acesso em: 29 de maio de 2016.
- [4] BAHIA, S. R. (Coord.) et al. Município e acessibilidade. Rio de Janeiro: IBAM/IDUMA, 1998.
- [5] BRASIL. Ministério da Educação (MEC). Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional (LDB). 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm. Acesso em: 29 de maio de 2016.
- [6] BRASIL. Ministério da Educação (MEC). Parecer CNE/CES 67/2003. Referencial para as Diretrizes Curriculares Nacionais – DCN dos Cursos de Graduação. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES0067.pdf>. Acesso em: 29 de maio de 2016.
- [7] BRASIL. Ministério da Educação (MEC). Resolução CNE/CES 11/2002. Institui Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf>. Acesso em: 29 de maio de 2016.
- [8] CONFEA. Resolução nº 1.010, de 22 de agosto de 2005. Disponível em: <http://normativos.confea.org.br/ementas/visualiza.asp?idEmenta=550>. Acesso em: 30 de maio de 2016.
- [9] ZHVIDA. Número de idosos quase triplicará no Brasil até 2050, afirma OMS. 2015. Disponível em: <http://tinyurl.com/j6upfoc>. Acesso em: 30 de maio de 2016.



Primeiro autor: Silva D. L. é de nacionalidade brasileira, nasceu em 25 de maio de 1989. É formada em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, na cidade do Recife. Obteve o título de engenheira no ano de 2015. Atualmente é aluna do mestrado em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco.

Durante a graduação a autora foi monitora das disciplinas de Aeroportos I e Técnica e

Economia dos Transportes 1. Participou de projeto de iniciação científica e extensão, ambos na área de sustentabilidade. Publicou 5 (cinco) artigos em anais de congressos nacionais e internacionais. Atualmente a autora realiza pesquisas na área de materiais de construção civil.

A engenheira Silva durante o mestrado, participou de congressos internacionais e nacionais, publicando artigos nos anais, publicou 3 (três) artigos em revistas científicas e 1 (um) capítulo de livro. 2 (dois) dos artigos publicados em anais de congressos obtiveram premiação.

Capítulo 3

uAdventure: El Renacer de eAdventure

Ivan J. Perez-Colado, Victor M. Perez-Colado, Ivan Martínez-Ortiz, Manuel Freire-Moran,
Baltasar Fernández-Manjón

Title—uAdventure: The eAdventure reboot.

Abstract—Educational games (aka serious games, SG) are powerful educational contents. However, they are costly to develop, and once developed, SGs become dependent on software and hardware combinations that may become obsolete, such as Adobe Flash or Java Applets. Addressing these problems would allow a much greater use of SGs in education. The eAdventure authoring tool, developed by the e-UCM research group, addressed high development costs, and resulted in the creation of multiple SGs in collaboration with different institutions. However, eAdventure's Java Applets have become increasingly difficult to run due to platform obsolescence. To maintain the benefits of the eAdventure platform and user base, we have created new platform called uAdventure: an SG editor built on top of the game engine Unity that allows for the creation of educational adventure games without requiring programming. Since Unity is supported on a majority of platforms (including mobile). By developing SGs with uAdventure, the games become future-proof, as they can be updated and retargeted for new platforms as required. In this sense, uAdventure improves the lifecycle of SGs by reducing both authoring and maintenance costs.

Keywords—serious games; Unity 3D; learning analytics; geolocalization

Resumen— Los juegos educativos, también conocidos como juegos serios, (SG, del inglés *serious games*) son un poderoso contenido educativo. Sin embargo, son costosos de desarrollar y, una vez desarrollados, los SG son muy dependientes del software y hardware con problemas de obsolescencia añadidos (p.e. Adobe Flash, applets de Java). Abordando estos problemas es posible lograr un mejor uso de los SG en la educación. La herramienta de autoría eAdventure, desarrollada por el grupo de investigación e-UCM, abordó el problema de los grandes costes de desarrollo permitiendo la creación de múltiples SG en colaboración con varias instituciones. Aun así, los applets de Java generados por eAdventure son cada vez más difíciles de ejecutar debido a su escaso soporte. Para preservar los beneficios aportados por la plataforma y

comunidad de usuarios de eAdventure hemos creado una nueva herramienta llamada uAdventure. uAdventure es una herramienta de autoría de SG construida sobre motor de juegos Unity que permite la creación de aventuras educativas sin necesidad de programar. Como Unity da soporte para la mayoría de plataformas (incluidas las móviles), los SGs de uAdventure soportarán con mayor facilidad la migración necesaria para evitar la obsolescencia, permitiendo que los SGs puedan ser actualizados para nuevas plataformas según se necesite. En este sentido, uAdventure mejora el ciclo de vida de los SG reduciendo costes de creación y mantenimiento.

Keywords—juegos serios; Unity 3D; analíticas de aprendizaje, geolocalización

I. INTRODUCTION

LAS simulaciones educativas, la gamificación y los juegos educativos en general (SG, del inglés *serious games*) han atraído una gran atención por parte de los educadores. Esto es debido a sus características intrínsecas para motivar y atraer al jugador [1]. Los SG se han aplicados en múltiples dominios y escenarios educativos, destacando entre ellos la gestión empresarial, el entrenamiento militar y el área de la salud. Más concretamente, en el área de la gestión empresarial, los SGs se usan para simplificar el entrenamiento de habilidades de negociación en las que el jugador se puede poner en el rol del personal de recursos humanos, o de ventas en un negocio. Por otro lado, en el área de salud, los SGs pueden ser usados para adquirir o refrescar una habilidad o aprender un procedimiento (o parte de él) que, debido a su baja prevalencia, es difícil de aprender en un escenario educativo real. Finalmente, en el caso del ejército, los SGs y las simulaciones se usan para reducir costes o mejorar el entrenamiento previo al ejercicio real. Adicionalmente, los SGs han sido utilizados en otros dominios muy diversos como, por ejemplo, la protección medioambiental o para concienciar y cambiar los comportamientos de las personas.

Como resultado del creciente uso y aceptación de los SG, se ha creado un nicho de mercado alrededor de su desarrollo y mantenimiento. Este mercado espera tener un crecimiento de más del 16% anual entre 2015 y 2020 [2]. Por ejemplo, *CodinGame*, un SG en línea que enseña a programar, tiene

Este trabajo fue presentado originalmente al CONGRESO EDUCON 2017

Ivan J. Perez-Colado, Victor M. Perez-Colado, Ivan Martínez-Ortiz, Manuel Freire-Moran, Baltasar Fernández-Manjón pertenecen al Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial, de la Facultad de Informática de la Universidad Complutense de Madrid. C/

Profesor José García Santesmases 9, 28040 Madrid, España. Email: {ivanjper, victormp}@ucm.es, {imartinez, manuel.freire, balta}@fdi.ucm.es. Esta investigación ha sido parcialmente financiada por el Gobierno Regional de Madrid [eMadrid S2013/ICE-2715], por el Ministerio de Educación [TIN2013-46149-C2-1-R] y por la Comisión Europea [RAGE H2020-ICT-2014-1-644187, BEACONING H2020-ICT-2015-687676].

alrededor de medio millón de usuarios registrados, con una media de dos mil usuarios conectados simultáneamente [3].

El proceso de desarrollo y producción de los SG puede clasificarse en las siguientes categorías: i) Juegos comerciales (COTS, del inglés *commercial-off-the-shelf*), ii) Juegos serios ya existentes, y iii) Juegos serios personalizados. Esta clasificación está basada en la correlación entre los objetivos educativos del educador y los objetivos educativos del juego (si los tiene). Normalmente, cuanto más personalizado sea el juego, con mayor precisión satisfará las necesidades del educador. No obstante, cuanto más nos acercamos a un juego completamente personalizado, el proceso de desarrollo se vuelve más complejo y los costes aumentan (por usuario).

En algunos casos, un juego comercial puede cubrir las necesidades del educador. Estos *Juegos comerciales*, cuando se aplican en el contexto adecuado, pueden tener un gran impacto. Por ejemplo, Zoo Tycoon¹ es un juego centrado en la construcción y gestión de un zoo, donde los jugadores aprenden conceptos relacionados con economía o gestión empresarial, siendo precisamente estos los objetivos educativos que se deseaban enseñar. La ventaja principal de estos juegos es clara: la económica; el juego ya está desarrollado y, por tanto, sólo se necesitan adquirir licencias. En cualquier caso, la efectividad de estos juegos requiere diseñar un escenario pedagógico apropiado y proporcionar una atención adicional por parte del profesor.

Los SG ya existentes son un tipo de juegos comerciales que habitualmente son mantenidos por empresas de formación y consultoras, las cuales suelen ofrecer una capa de personalización. Esta personalización suele ofrecerse como servicio *a la carta*, donde la organización/el instructor puede elegir un conjunto de objetivos educativos, los cuales el proveedor satisface con un uno o un conjunto de SGs que satisfacen dichos objetivos. Esta opción también puede ser denominada *Juegos como servicios*, donde la organización/el educador no necesita desarrollar o mantener el juego, simplemente paga una cuota de uso. Otras ventajas de esta aproximación es que habitualmente incluyen alguna herramienta de evaluación para monitorizar y analizar el comportamiento de los estudiantes. Un ejemplo de este género es *Classcraft*², donde la clase se transforma en un juego de rol que mejora la colaboración y trabajo en equipo de los estudiantes.

Finalmente, los SG *personalizados* tienen un mayor potencial en la efectividad y aplicabilidad, sin embargo, también tienden a necesitar equipos de desarrollo amplios y multidisciplinares, con grandes costes de producción. No obstante, para SG más simples, es factible proporcionar a los educadores una plataforma de autoría fácil de usar, con características limitadas, que les permita crear sus propios SG; o por lo menos, modificar o personalizar un juego ya existente, adecuándolo sus necesidades educativas concretas.

eAdventure (eA) [4] es una herramienta de autoría que permite la creación de SG sin necesidad de tener conocimientos avanzados de informática (p.e. programación). Además, eA permite la reutilización y el cambio de propósito de juegos previamente desarrollados en eA. Esto permite a los educadores personalizar los juegos para una situación educativa específica. Por ejemplo, es

posible cambiar cómo se evalúan a los alumnos en el juego, o sencillamente cambiar alguno de los gráficos para cambiar o personalizar el contexto educativo.

eA fue creado en 2007 y pese a que ha recibido múltiples actualizaciones, la tecnología sobre la que se sustenta tiene limitaciones técnicas. En particular, eA permite desplegar los juegos utilizando applets de Java, con el objetivo de facilitar el despliegue de los SGs desde un entorno virtual de aprendizaje (VLE, del inglés *Virtual Learning Environment*). No obstante, en la actualidad, el soporte de applets de Java está restringido al navegador Internet Explorer. Asimismo, la plataforma eA además de incluir componentes específicamente relacionados con el desarrollo de juegos serios, también incluye componentes de desarrollo de juegos en general ya que en el momento de la concepción de eA no existía una plataforma de juegos generalista, sobre la que construir eA. Por tanto, cualquier evolución tecnológica de eA requiere no solo evolucionar los componentes específicamente relacionados con los juegos serios y que son los que proporcionan el valor añadido, sino que se requiere evolucionar los componentes de desarrollo de juegos generalistas. Para abordar estos problemas, e incluir nuevas características educativas, se ha diseñado uAdventure (uA) como una evolución de eA.

El resto de este artículo está estructurado de la siguiente manera; la sección II es una retrospectiva de eA analizando las limitaciones que propiciaron una evolución tanto en la perspectiva técnica, cómo educativa. La sección III y IV describen uA, sus nuevas características y las nuevas oportunidades educativas que ofrece. Para terminar, la sección V proporciona unas conclusiones y describe las futuras líneas de trabajo.

II. DE EADVENTURE A UADVENTURE

A. eAdventure

Desarrollar juegos, especialmente SG, requiere abordar y equilibrar tanto el aspecto educacional como el tecnológico. Uno de los primeros elementos a considerar es qué plataforma o tecnología se utilizará para desarrollar el juego. Por ejemplo, si se utiliza un motor de videojuegos profesional, como Unity o Unreal Engine, se requerirá un equipo de desarrollo con buenas habilidades de programación, lo que dificultará que se involucren la mayoría de los profesores en el equipo de desarrollo del juego.

Otro aspecto a tener en cuenta es el equilibrio entre el aspecto del entretenimiento y el educativo [5]. Por un lado, si el juego se centra demasiado en la parte educativa puede no atraer al estudiante para que siga jugando. Por el otro lado, tampoco se debe abusar de la componente de entretenimiento, si con esto se menoscaba el objetivo educativo.

En el mundo de los videojuegos existen múltiples géneros, y no todos ellos son iguales desde un punto de vista educativo. Dickey [6] y Amory [7] identificaron que las aventuras gráficas *point-and-click* son uno de los géneros más apropiados para hacer SG, ya que se caracterizan por tener un ritmo mas pausado que facilita la reflexión, el estudio del entorno, y la resolución de problemas [8]. Hay editores comerciales específicos para la creación de este tipo de

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Zoo_Tycoon

² <https://www.classcraft.com>

juegos, como *Adventure Game Studio*³, *Adventure Maker*⁴ o *3D Adventure Studio*⁵ [9]. Sin embargo, estas plataformas no suelen dar soporte a características educativas deseables en los SG como, por ejemplo, la evaluación.

eAdventure (eA) es una plataforma que simplifica el desarrollo de aventuras gráficas *point-and-click* en 2D [4]. En eA, los educadores pueden participar activamente en la creación del SG junto a los desarrolladores, o incluso crear los juegos ellos mismos sin necesitar habilidades de programación. De esta manera los educadores se integran en el proceso de desarrollo, dándoles la oportunidad de cuidar especialmente los aspectos más educativos.

eA tiene cuatro características que lo hacen especialmente apropiado para la creación de SG: i) permite el desarrollo con poco presupuesto, ii) maximiza el Retorno de Inversión (ROI, del inglés *Return of Investment*), iii) permite personalizar la experiencia de aprendizaje, y iv) facilita tanto la distribución como la evaluación. Uno de los aspectos más caros del desarrollo de videojuegos es la creación de recursos gráficos. Con eA, es posible usar fotografías tomadas con una cámara digital para crear recursos gráficos. Asimismo, los juegos de eA son modificables permitiendo que juegos existentes puedan ser abiertos con el editor eA, para ser personalizados para una situación educativa concreta, o para actualizarlos a los nuevos requisitos educativos.

Además, los juegos creados con eA pueden ser empaquetados como un paquete de contenido SCORM [10] ó IMS CP [11] que incluyen el juego como un applet de Java. Esta característica simplifica la distribución de los SGs utilizando un VLE, además en caso de que el VLE soporte la API de SCORM, los juegos además podrán enviar datos (nota global, nivel de completitud, etc.) al VLE.

B. ¿Por qué eAdventure necesita renovarse?

El diseño de eA comenzó en 2007, y la primera versión fue lanzada al comienzo de 2008 como proyecto de código abierto. Desde entonces ha sido mantenido por diferentes desarrolladores, principalmente investigadores que han utilizado activamente la plataforma. Éstos han ido incluyendo características que los educadores solicitaban participando en la comunidad de eA. No obstante, se tomaron decisiones técnicas que en aquel momento eran correctas pero que ahora dificultan el mantenimiento y la evolución de eA.

eA se construyó utilizando el entorno Java como base para beneficiarse de su lema “*build once, run anywhere*”. Java sustenta tanto el editor (usado para desarrollar los SG) como los juegos en sí. De este modo los SG podían ser desplegados en múltiples plataformas sin hacerles cambios. De esta manera es posible mitigar, o evitar completamente, los problemas de compatibilidad entre, por un lado, el equipo utilizado por el educador (o equipo de desarrollo) para crear el juego y, por el otro lado, el muy heterogéneo ambiente que se suele encontrar en las salas de ordenadores de los colegios. Es más, la habilidad de generar SG multiplataforma y la oportunidad de personalizar los juegos fomentó la colaboración entre educadores que compartían sus SG.

eA y Java siguen siendo válidos para los equipos de sobremesa pero en la actualidad se está tendiendo a utilizar en las instituciones educativas *Tablets* o *Smartphones* como

herramienta educativa. A pesar de que Java como lenguaje sigue siendo relevante (gracias a Android), el desarrollo en Java ya no provee de forma efectiva un soporte multiplataforma. Además, los dispositivos móviles presentan nuevos mecanismos de interacción (e.g. pantalla táctil, o sensores como acelerómetro o GPS) que abren nuevas oportunidades para la creación de experiencias educativas ubicuas plasmables en un SG.

El despliegue de SG creado con eA se basa en el uso de los applets de Java (programas java que se ejecutan en un navegador). Cuando eA se creó, la interoperabilidad del contenido se centraba principalmente en la distribución de contenidos mediante la web. El uso de applets de Java en eA facilitaba la aplicación de los estándares de eLearning, permitiendo empaquetar los SG como contenido IMS-CP [11]. Esto permitía a los estudiantes acceder y jugar a los juegos igual que con cualquier otro contenido web.

Sin embargo, debido a los continuos problemas de seguridad [12] en los applets de Java concretamente, y en los complementos de navegador en general, la mayoría de los navegadores han dejado o están en proceso de dejar de dar soporte a los los applets Java [13].

eA, además de ser una plataforma de código abierto para la creación de SG *point-and-click*, complementa las características habituales de las herramientas de creación de videojuegos con características educativas (e.g. evaluación, soporte de estándares eLearning) que hacen que eA siga siendo único y relevante (ver Fig. 1). Pese a que sólo dos de los componentes de eA han sido específicamente diseñados con propósitos educativos, es necesario un esfuerzo considerable para mantener la plataforma como un entorno completo de creación de juegos. Esta falta de equilibrio afecta negativamente al mantenimiento y sostenibilidad de un proyecto de código abierto de investigación que tiene recursos limitados (desarrolladores). En particular, estar al día con la continua evolución tecnológica hace más difícil poder incluir las características educativas que los profesores esperan y solicitan.

No obstante, consideramos que las ideas principales de eA siguen siendo válidas y relevantes para la comunidad educativa, por lo que, hemos continuado este enfoque con uAdventure.

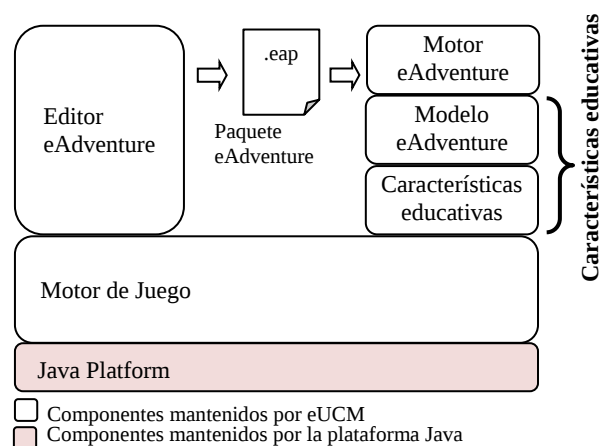


Fig. 1. Principales componentes de eAdventure

³ <http://www.adventuregamestudio.co.uk/>

⁴ <http://www.adventuremaker.com/>

⁵ <http://3das.noeska.com/>

III. uADVENTURE

El desarrollo de uAdventure (uA) pretende conseguir los siguientes objetivos: i) abordar las limitaciones técnicas de eA, ii) resolver los problemas de mantenimiento y sostenibilidad, iii) proporcionar una plataforma sólida sobre la que construir nuevas características educativas, y iv) mantener la compatibilidad con eA (por lo menos permitir la importación de juegos creados con eA).

uA se fundamenta en Unity debido, principalmente, a que se ha convertido en el motor de creación de videojuegos más popular [14]. Uno de los motivos de esta popularidad es su soporte a multiplataforma⁶, incluyendo sobremesa (Windows, Mac OS y Linux), consolas (PlayStation, Xbox, o Nintendo 3DS), web (HTML5) y móvil (Android e iOS). Unity ha atraído mucha atención, tanto de las grandes compañías como Blizzard con “Hearthstone”⁷, Nintendo con “PokemonGO”⁸ o Ubisoft con “Grow Up!”⁹; como de los desarrolladores independientes¹⁰. Éstos últimos se caracterizan por que, usualmente, disponen de menor presupuesto para el desarrollo, situación común en el desarrollo de SG. Comparado con otras opciones, Unity destaca por su simplicidad y extensibilidad, con buena documentación y una comunidad muy activa de desarrolladores.

La elección de Unity para el desarrollo de uA fue una respuesta a los problemas de mantenibilidad de proyecto, pudiendo beneficiarse de ésta robusta plataforma y su comunidad. De esta manera el tiempo de desarrollo que se invierte en desarrollar uA puede centrarse en las características que hicieron eA único. Es más, gracias a la popularidad de Unity, se simplifica la tarea de encontrar programadores que contribuyan al proyecto, o la contratación de desarrolladores para crear nuevas funcionalidades.

uA ha sido creado en un contexto donde los antiguos SG creados con eA tenían problemas de despliegue. Con lo que, uno de los objetivos de uA es poder incrementar la vida útil de dichos juegos, permitiendo importarlos, probarlos y modificarlos en el motor de ejecución. Tras abrir un juego eA en uA, y utilizando las herramientas de compilación de Unity, pueden generarse nuevos ejecutables para un gran rango de plataformas y sistemas operativos.

A. La arquitectura de uAdventure

eA se compone de múltiples capas (ver Fig. 1), como un editor, motor de juegos, un modelo de representación y un compilador de proyectos. Debido al acoplamiento y complejidad de la plataforma, aquellos desarrolladores que deseaban extender eA necesitaban familiarizarse con todos sus componentes. Sin embargo, uA se compone básicamente de dos capas: el intérprete y el editor. Muchas de las capas de eA desarrolladas con fines específicos han sido reemplazadas por funcionalidades de Unity. Así uA es más fácil de mantener y de extender con nuevas funcionalidades.

La arquitectura modular de uA, presentada en la Fig. 2, muestra como el editor gráfico (GUI), el intérprete y el emulador, se construyen sobre los componentes proporcionados por Unity. Las nuevas características están

destacadas en la Fig. 2 utilizando línea discontinua, incluyendo: el Tracker xAPI, extensiones como el soporte a geolocalización, y una futura interfaz similar a la de Unity. Comparada con la arquitectura previa puede parecer más compleja ya que aparecen más módulos. Sin embargo, esta percepción es engañosa ya que incluso con más módulos mantenidos por e-UCM, éstos se dividen en sólo dos capas: Intérprete y Editor. El resto de los módulos son más simples y fáciles de mantener en comparación con los paquetes de eA (Editor y Motor de Juegos) mostrados, cuyos núcleos han sido reemplazados con el Editor Extensible y el Motor de Juegos Extensible de Unity.

Por lo tanto, como se ha mencionado las dos capas principales que componen uA son: Intérprete y Editor. El Editor se centra en crear la especificación de juego que, en conjunto con los recursos (gráficos, audios, etc.), forman el juego. Por compatibilidad, el editor de uA utiliza el modelo de datos de eA como base y lo extiende para incluir nuevas características, como las nuevas escenas de mapa y la nueva especificación de evaluación [15]. El Intérprete depende del núcleo de representación de Unity para traducir la especificación de juego con sus recursos, en elementos de Unity y permitir que se pueda jugar.

B. El editor de uAdventure

El editor permite al usuario modificar el diseño del juego, gestionar y crear nuevos elementos de juego. Algunos de los aspectos clave de eA han sido recreados en uA, creando una interfaz muy similar a la de eA, incluyendo los menús, las ventanas y la apariencia general. De esta manera es más fácil para los usuarios de eA pasar a usar uA. No obstante, uA también incluirá algunas nuevas interfaces creadas utilizando elementos de Unity. Estas nuevas interfaces estarán basadas en la idea de integrar más uA con Unity, y están inspiradas en algunas de las ventanas más frecuentes de Unity, como la previsualización de la escena y la jerarquía de objetos, el animador de Unity, o el inspector de elementos. Esto crea una mayor modularidad y permite a los desarrolladores de juegos familiarizados con Unity aprovecharse del valor adicional

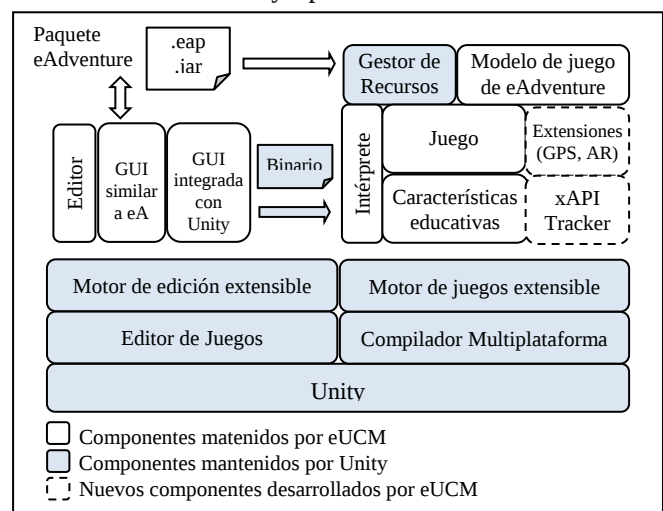


Fig. 2. Módulos y arquitectura de uAdventure, incluyendo los módulos proporcionados por Unity.

⁶ <https://unity3d.com/unity/multiplatform>

⁷ <http://eu.battle.net/hearthstone/en/>

⁸ <http://www.pokemongo.com/>

⁹ <https://www.ubisoft.com/en-GB/game/grow-up/>

¹⁰ <https://unity3d.com/public-relations>

que da uA a los SG. Una comparativa entre la antigua interfaz de eA y la nueva interfaz de uA se presenta en la Fig. 3. En este caso, un usuario de eA que acaba de empezar con uA puede ser productivo: la interacción con la interfaz es muy similar a lo que ya conocen, lo que se suaviza la curva de aprendizaje.

Según uA evolucione dentro de Unity, se beneficiará de otras características de Unity, como los elementos 3D (descargables de la *Unity Asset Store*), el motor de físicas, las mallas de navegación para el movimiento, o las animaciones nativas basadas en máquinas de estado. Los juegos serán más ricos y los desarrolladores necesitarán menos tiempo para crearlos. Además, las características nativas de Unity, que están bien documentadas, pueden ser reutilizadas en múltiples juegos, e incluso distribuidas como paquetes, siendo mantenidas según Unity evolucione.

Una de las mejoras de uA es el soporte a multimedia mediante el uso del proyecto *FFmpeg* para la transformación de vídeo. El manejo de elementos multimedia, incluyendo vídeo y audio, es una tarea compleja cuando se distribuye en múltiples plataformas. uA aborda estos problemas, no solo cuando juegas el juego (utilizando el reproductor multimedia de Unity), sino que, además, durante la creación del juego, se utiliza para la transformación directa entre formatos de vídeo. Esto incrementa, por ejemplo, el número de formatos de vídeo soportados por eA de AVI (DIVX 4, XVID, DIVX3low, S-Mpeg 4 V2, DIVX5) y MPG (MPEG1), a prácticamente cualquier formato de vídeo disponible. Este aspecto simplifica enormemente la tarea de incluir recursos multimedia en el juego.

Por tanto, utilizar Unity como base no sólo nos permite incluir nuevas características fácilmente, sino que además se mejora el desarrollo y mantenimiento de uA. Esto tiene un inconveniente y es que el desarrollo requiere un detallado conocimiento de Unity. Pero, por otro lado, la mayoría de las tareas de mantenimiento más duras de realizar en eA ya no son necesarias (e.g. hacer frente a los cambios en plataformas móviles, o la reproducción multimedia ya que Unity las provee). Esto permite a los investigadores de e-UCM usar sus

recursos en mejorar e incrementar las características educativas y el valor añadido ofrecido por uA.

C. El Intérprete de uAdventure: un Emulador de eA.

El intérprete carga el fichero de descripción del juego, junto a sus recursos, y permite jugar. Se basa en Unity, extendiendo el Motor de Juego Extensible mediante el desarrollo de comportamientos para cada elemento que es visible y ejerce un rol en el juego.

Además, el intérprete también gestiona diversos elementos del modelo de juego heredado de eA como el estado del juego (p.e. *flags*, *variables*, *global-states*) y otros elementos del juego como el inventario o la escena actual. Finalmente, orquesta la ejecución del juego.

El intérprete no es sólo responsable de la representación, sino que también maneja la interacción del usuario. Los juegos desarrollados con uA pueden ser exportados a múltiples plataformas, lo que presenta un reto importante: diferentes plataformas requieren de diferentes métodos de interacción. uA da soporte a múltiples métodos de interacción, incluyendo la entrada tradicional de ratón y teclado, así como a entornos de pantalla táctil. La plataforma uA da a los desarrolladores herramientas para hacer el juego más fácil de jugar dependiendo del entorno de ejecución donde se ejecutará el juego. Por ejemplo, si el juego se exporta para PC/Ratón-Teclado el juego se presentará como otros juegos de eA, incluyendo varios cursores, textos flotantes, y listas de respuestas en la parte baja de la pantalla. Por otra parte, si el mismo juego se exporta para Tablets/Táctil, los elementos interactivos brillarán de forma periódica para atraer la atención del jugador ya que, en entornos táctiles, el jugador no puede explorar la escena con el ratón para encontrar los elementos interactivos.

uA también incluye un emulador de juegos de eA multiplataforma, el cual, recibiendo un juego “.jar” ejecutable (juego ya exportado por eA), permite jugarlo en cualquiera de las plataformas de Unity. Este emulador ejecuta los antiguos juegos, pero soporta además las nuevas características del intérprete de uA. Esto incluye mejores animaciones, más efectos visuales, una interfaz mejorada y adaptada, o la

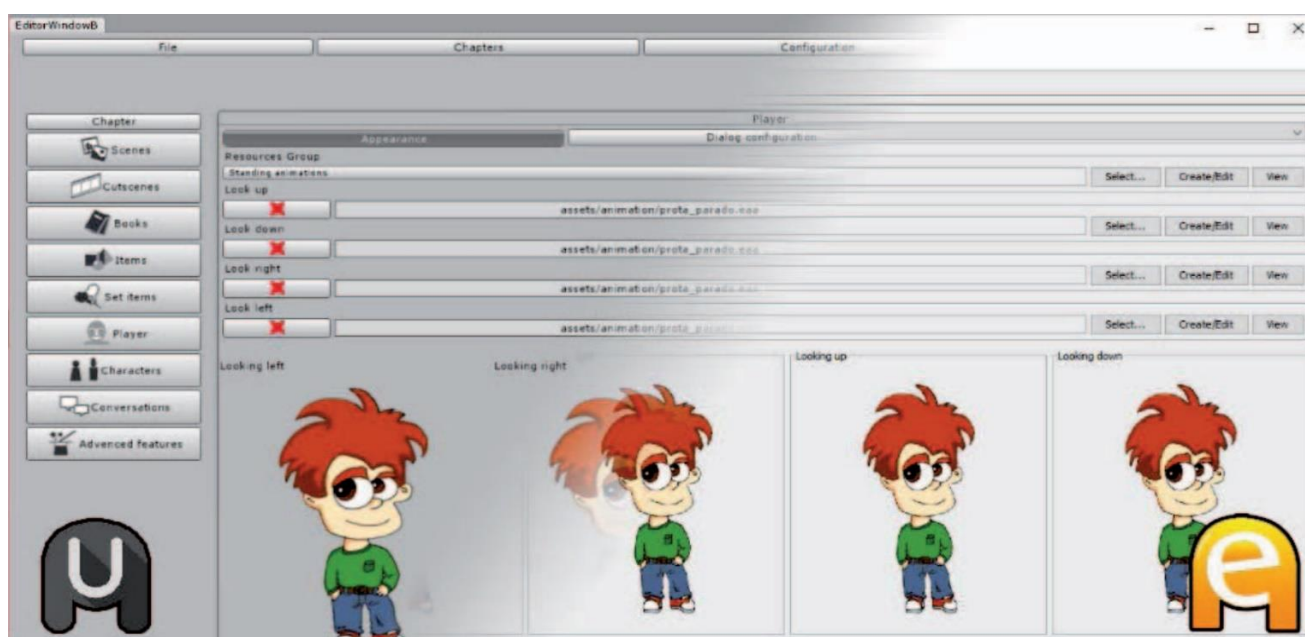


Fig. 3. Transición del editor de personajes en uAdventure (izquierda) al aspecto del editor de personales en eAdventure (derecha).

habilidad para jugar juegos de eA en dispositivos móviles. El emulador permite a los usuarios navegar en su sistema de ficheros e importar fácilmente los juegos que deseen en la plataforma de su elección. Los juegos que ya hayan sido importados se guardarán en el emulador con su configuración. Esto permite a los estudiantes utilizar juegos antiguos en nuevos dispositivos.

D. Migrando SGs de eAdventure a uAdventure

El ciclo de vida de los SG creados con eA ha mejorado debido a la creación del intérprete de uA. La mayoría de los juegos desarrollados con eA ahora son compatibles con uA. Esto previene que se pierda el considerable esfuerzo que se invirtió en diseñar, implementar y probar dichos juegos. Ya que, si hoy en día el juego es difícil de distribuir o no funciona en nuevas plataformas, su actualización hubiera requerido realizar un nuevo desarrollo completo para alcanzar el mismo nivel de soporte que da uA. De esta manera, el uso de uA evita los altos costes de producción en tiempo y dinero que hubieran necesitado la re-implementación de estos juegos.

Como ejemplo, existe un caso de estudio resultante de adaptar un SG desarrollado en eA a un motor de videojuegos actual, donde un desarrollador de juegos experimentado del grupo de investigación e-UCM recreó el juego de Primeros Auxilios [16] en Unity. La producción tomó alrededor de 50 horas de desarrollo, e incluso con ese esfuerzo sólo se completó alrededor del 85% del juego (algunas situaciones del juego original se ignoraron). Basándonos en estos datos, podemos estimar que es necesario un desarrollo de entre 60 y 80 horas para recrear un juego de eA en un nuevo motor de videojuegos, asumiendo que el desarrollador responsable tenga acceso al documento inicial de diseño del juego, y sin realizar pruebas específicas, lo que puede provocar futuros problemas. Este es un sustancial coste de mantenimiento para un SG ya producido (además de que en la mayoría de los casos no existe un presupuesto para mantenimiento). De hecho, los 6 SG desarrollados por la organización educativa CATEDU [17] utilizando eA están en esta situación. Gracias a uA este coste se ve reducido a los pocos minutos que toman importar el juego en uA y generar las nuevas versiones. Es más, nosotros hemos tomado el juego de Primeros Auxilios [16] y hemos generado nuevas versiones. Actualmente estamos realizando pilotos utilizando dicho juego en colegios de Madrid para probar las nuevas características de analíticas de aprendizaje descritas en la siguiente sección.

IV. LAS NUEVAS CARACTERÍSTICAS EDUCATIVAS DE UADVENTURE

En términos de características educativas, hay algunas diferencias entre uA y eA. Esta sección se centra en la descripción de dos características educativas principales que están siendo desarrolladas en uA: i) analíticas de aprendizaje y ii) juegos geoposicionados.

A. Analíticas de Aprendizaje para SG.

La evaluación de una actividad formativa que utiliza SG presenta retos importantes. Habitualmente el profesor tiene poco control (o poca información) sobre la actividad del estudiante cuando juega con el SG [1]. Esto también ocurre habitualmente cuando se usan otras tecnologías de eLearning en la clase, como los MOOC o los VLE. Algunos resultados

de investigación muestran que, cuanto más conocen los profesores de la actividad de sus estudiantes en la herramienta educativa, pueden usarla mejor y con mayor eficacia [18].

La herramienta de evaluación de eA se basaba en condiciones que indicaban algunas de las acciones del jugador en el juego, como “El jugador ha suspendido la prueba X” o “El jugador se niega a aceptar la ayuda del personaje Y” [11]. Estas condiciones, pese a ser útiles para la evaluación, eran una de las características más difíciles de utilizar por parte de los desarrolladores de juegos de eA. Esta funcionalidad requiere dominar el uso de condiciones y, hasta cierto punto, tener un pensamiento computacional que permita entender como vincular los estados del juego con los objetivos educativos del juego. Por otra parte, el editor de eA permite al desarrollador crear múltiples perfiles de evaluación (conjuntos de condiciones) [19]. El resultado de esta evaluación era un informe en formato de texto, que tenía que ser interpretado por el instructor para obtener resultados educativos.

Además, la evaluación basada en condiciones preestablecidas implica que, cuantos más elementos se quieren evaluar, más tiempo deben invertir los desarrolladores en crear condiciones. Aun así, existen algunos aspectos del comportamiento del estudiante que se pierden, ya que estas condiciones sólo permiten realizar un seguimiento de aquellos escenarios contemplados durante el diseño del juego, o en el mejor de los casos antes de la actividad educativa. Finalmente, esta aproximación funciona para grupos pequeños de estudiantes, pero no es muy escalable. Para grupos grandes, aumenta la dificultad de realizar intervenciones correctivas durante la actividad: más estudiantes conllevan más documentos individuales que deben leerse y analizarse.

Una aproximación complementaria a la evaluación basada en condiciones consiste en la aplicación de técnicas de *Big Data* y de analíticas de aprendizaje, donde se realiza una recogida de datos mientras el estudiante juega, se procesan y se muestran en un cuadro de mando al educador. Esta aproximación puede usarse para proveer métricas que ayudarán al instructor a evaluar a los alumnos, o incluso a descubrir errores en el diseño del juego [20], [19].

Para poder aplicar estas técnicas de *Big Data* y de analíticas de aprendizaje, se debe recolectar toda la información de la interacción del jugador con el juego. En lugar de crear un formato personalizado para representar estas interacciones, uA ha adoptado la especificación xAPI (eXperience API) [21] que tiene un enfoque similar al usado en redes sociales para analizar las interacciones de los usuarios. En xAPI, las trazas de la interacción (llamadas *statements*) se componen de: i) un actor, que define quién realiza la acción, ii) un verbo, que define la acción entre el actor y el objeto, iii) un objeto, que define aquello con lo que se interactúa, y iv) un conjunto de propiedades opcionales como el resultado de la acción, o la fecha y hora de cuando sucedió [22]. Bajo estas premisas es posible representar acciones de juego, pero para poder facilitar al desarrollador la creación de herramientas de analíticas automáticas que analicen las sesiones de juego, el equipo e-UCM en colaboración con ADL (desarrolladores de xAPI), ha desarrollado un perfil de aplicación específico de xAPI para su uso en SG [15].

Existen dos razones principales para usar xAPI. Por un lado, permite a los SG de uA interactuar con herramientas de eLearning que sean compatibles con la especificación de xAPI, incluyendo, por ejemplo, el *Learning Record Store* (un servicio de almacenamiento para trazas de xAPI). Por otro lado, e incluso más importante, las sesiones de juego serán compatibles con futuras herramientas de xAPI, por ejemplo, será posible aplicar nuevas herramientas de analíticas de aprendizaje sobre sesiones previamente almacenadas. Por ejemplo, con el soporte actual de xAPI (aunque incipiente) es posible integrar los SG creados con uA con las aplicaciones de analíticas de aprendizaje desarrolladas como parte de los proyectos H2020 RAGE¹¹ y BEACONING¹².

B. Juegos Geoposicionados

Una de las mayores ventajas de uA es la capacidad de crear SG para dispositivos móviles aprovechando la gran cantidad de sensores de los que se dispone en estos dispositivos.

Desplegar SG en dispositivos móviles permite jugar a los juegos en cualquier momento y lugar. Esto abre nuevas oportunidades para usar los SG en nuevos escenarios educativos y usar otros medios de interacción alternativos. Un ejemplo de las oportunidades que ofrece este tipo dispositivos es la plataforma MitAR¹³ del MIT, que permite crear SGs con características de realidad aumentada y geolocalización [23]. No obstante, MitAR todavía no ha sido portada con éxito a la mayoría de plataformas móviles. Más recientemente, 2016 fue el año del atractivo juego de realidad aumentada “PokemonGo”, el cual no solo atrajo un enorme número de usuarios, sino que indirectamente impacto en el bienestar de los jugadores [24].

uA está comenzando a beneficiarse de los sensores GPS, la brújula y la cámara que ya están disponibles para los juegos creados con Unity. Esto permite la creación de juegos geoposicionados que quedaban fuera del alcance de eA, como gymkhanas, tours interactivos, o visitas culturales guiadas. La geolocalización se ha implementado creando un nuevo tipo de escena de mapa en el modelo de uA. Hasta ahora, una escena del juego era una metáfora para representar un lugar y entorno donde los jugadores, o sus avatares, interactúan con el mundo del juego. La escena de mapa es una representación virtual del entorno real donde se juega al juego. Esta nueva escena de mapa (y su editor correspondiente) provee acceso a un mapa para definir puntos de interés, regiones, o incluso rutas para unir las mecánicas existentes en el paradigma de los juegos geoposicionados.

Finalmente, para que estos juegos sean efectivos en interiores se ha creado un escáner de códigos QR. Estos códigos QR son fáciles de generar, y pueden ser posicionados en lugares interesantes para su posterior escaneo por aquellos que jueguen en un móvil. No obstante, su uso requiere permiso del usuario para poder acceder a la cámara del dispositivo. Los códigos QR permiten su relocalización en diferentes lugares para cambiar o adaptar los juegos a nuevos lugares. De hecho, uno de los juegos más conocido en la comunidad de uA es el juego que enseña el Protocolo de Incendios, el cual fue creado originalmente como demostración de las capacidades de eA, además de enseñar dicho protocolo en la Facultad de Informática de la

Universidad Complutense de Madrid. Pese al uso de fotos reales del interior del edificio, obligar a los jugadores a moverse físicamente a través de los lugares que aparecen en el juego crea un mayor grado de inmersión.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

La plataforma eAdventure (eA) ha alcanzado su límite tecnológico debido a las limitaciones de la plataforma Java para soportar despliegues en móvil y web. No obstante, los principales objetivos y ventajas de eA siguen siendo relevantes para la comunidad de SG. El ciclo de vida de los SG de eA se ha extendido gracias a la creación de uAdventure (uA) ya que la mayoría de los juegos desarrollados en eA en el pasado ahora son importables en uA.

El proyecto uA aborda estas limitaciones técnicas, y provee nuevas características educativas que no fueron previstas cuando se creó eA. Para poder abordar los actuales y los futuros problemas tecnológicos, uA se construye sobre Unity lo que garantiza una base técnica sólida, con muchos usuarios y una gran comunidad de desarrollo.

La herramienta uA consta de dos elementos principales: el Editor y el Intérprete de juegos. El editor es una herramienta de autoría fácil de usar para aquellos que no saben programar muy similar a la interfaz de eA. Pero incluye algunas características nuevas como, por ejemplo, soporte a la interacción táctil, soporte de analíticas de aprendizaje, y soporte para juegos geoposicionados con o sin mapas. El soporte táctil incluye características para que jugar a juegos de aventura *point-and-click* en pantallas táctiles sea más fácil. El soporte a analíticas de aprendizaje lo da un *Tracker* xAPI integrado que proporciona información (trazas) sobre cómo se juega. Finalmente, el soporte a juegos geoposicionados utiliza el GPS y las capacidades inalámbricas del móvil, así como incorporar mapas al juego. El uso de Unity nos ha permitido también crear mejoras visuales, dando a los juegos un aspecto más profesional. Todo esto simplifica, por ejemplo, la creación de juegos como gymkhanas o tours por ciudades históricas.

El intérprete ha sido creado utilizando el mismo modelo utilizado en eA, para así poder mantener la compatibilidad con los juegos creados con eA y facilitar la migración a la nueva plataforma. En el caso del estudio presentado en la sección III-D, uA puede reducir hasta un 85% de los costes de mantenimiento y migración relacionados con el proceso de adaptar los SG de eA ya existentes a las nuevas plataformas.

La integración de uAdventure con la plataforma de analíticas de aprendizaje utilizada por los proyectos H2020 RAGE y BEACONING está en proceso. Esta plataforma de analíticas de aprendizaje simplifica la creación de indicadores y cuadros de mando (en inglés *dashboards*) utilizando el flujo de trazas en formato xAPI. Además, puede mostrar alertas y advertencias cuando los estudiantes muestren un comportamiento anómalo.

Pese a que uA todavía requiere un trabajo significativo antes de un lanzamiento público, creemos que uA con las capacidades descritas en este artículo puede ser un digno

¹¹ <http://www.rageproject.eu/>

¹² <http://beaconing.eu/>

¹³ <http://web.mit.edu/mitstep/projects/mitar-games.html>

heredero merecedor del legado de eA. Consideramos que uA integrado con el resultado los proyectos H2020 RAGE y BEACONING (donde el equipo eUCM participa) facilitará una mayor adopción de los SG en las escuelas.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Piotr Marszał por su aportación al código en la primera versión beta de uAdventure.

REFERENCIAS

- [1] G M. Nichols, "A theory for eLearning," *Educational Technology and Society*, vol. 6, no. 2, pp. 1–10, 2003.
- [2] "Serious Game Market worth \$5,448.82 Million by 2020." [Online]. Available: <http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/seriousgame.asp>.
- [3] "CodinGame: General Leaderboard." [Online]. Available: <https://www.codingame.com/leaderboards/global?column=codingpoints&value=all>.
- [4] J. Torrente, Á. Del Blanco, E. J. Marchiori, P. Moreno-Ger, and B. Fernández-Manjón, "e-Adventure: Introducing Educational Games in the Learning Process," in *IEEE Education Engineering (EDUCON) 2010 Conference*, 2010, pp. 1121–1126.
- [5] M. Prensky, "Digital game-based learning," *Comput. Entertain.*, vol. 1, no. 1, p. 21, Oct. 2003.
- [6] M. D. Dickey, "Game Design Narrative for Learning: Appropriating Adventure Game Design Narrative Devices and Techniques for the Design of Interactive Learning Environments," *Educ. Technol. Res. Dev.*, vol. 54, no. 3, pp. 245–263, Jun. 2006.
- [7] A. Amory, "Building an Educational Adventure Game: Theory, Design and Lessons," *J. Interact. Learn. Res.*, vol. 12, no. 2, pp. 249–263, 2001.
- [8] R. Van Eck, "Building Artificially Intelligent Learning Games," in *Games and Simulations in Online Learning*, IGI Global, 2007, pp. 271–307.
- [9] P. Moreno-Ger, J. L. Sierra, I. Martínez-Ortiz, and B. Fernández-Manjón, "A documental approach to adventure game development," *Sci. Comput. Program.*, vol. 67, no. 1, pp. 3–31, Jun. 2007. 2017 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) 978-1-5090-5466-4/17/\$31.00 ©2017 IEEE 25-28 April 2017, Athens, Greece Page 1760
- [10] J. Torrente, P. Moreno-Ger, I. Martínez-Ortiz, and B. Fernández-Manjón, "Integration and deployment of educational games in elearning environments: The learning object model meets educational gaming," *Educ. Technol. Soc.*, vol. 12, no. 4, pp. 359–371, 2009.
- [11] P. M. Ger, "eAdventure: Serious games, assessment and interoperability," in *2014 International Symposium on Computers in Education (SIIE)*, 2014, pp. 231–233.
- [12] G. McGraw and E. W. Felten, *Java Security: Hostile Applets, Holes&Amp;Antidotes*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [13] "NPAPI deprecation: developer guide." [Online]. Available: <https://www.chromium.org/developers/npapi-deprecation>.
- [14] F. Messaoudi, G. Simon, and A. Ksentini, "Dissecting games engines: The case of Unity3D," in *2015 International Workshop on Network and Systems Support for Games (NetGames)*, 2015, vol. 2016–Janua, pp. 1–6.
- [15] Á. Serrano-Laguna, I. Martínez-Ortiz, J. Haag, D. Regan, A. Johnson, and B. Fernández-Manjón, "Applying standards to systematize learning analytics in serious games," *Comput. Stand. Interfaces*, vol. 50, pp. 116–123, Feb. 2017.
- [16] E. J. Marchiori, B. Ferrer, B. Fernandez-Manjon, J. Povar-Marco, J. F. Suberviola, and A. Gimenez-Valverde, "Video-game instruction in basic life support maneuvers," *Emergencias*, vol. 24, no. 6, pp. 433–437, 2012.
- [17] CATEDU, "E-ADVENTURES. Download page.," 2011. [Online]. Available: <http://www.catedu.es/webcateduantigua/index.php/descargas/eadventures>.
- [18] A. Ravenscroft, "Designing E-learning Interactions in the 21st Century: revisiting and rethinking the role of theory," *Eur. J. Educ.*, vol. 36, no. 2, pp. 133–156, Jun. 2001.

- [19] W. L. Wong, C. Shen, L. Nocera, E. Carriazo, F. Tang, S. Bugga, H. Narayanan, H. Wang, and U. Ritterfeld, "Serious video game effectiveness," in *Proceedings of the international conference on Advances in computer entertainment technology - ACE '07*, 2007, no. January, p. 49.
- [20] Á. del Blanco, J. Torrente, P. Moreno-Ger, and B. Fernández-Manjón, "Enhancing Adaptive Learning and Assessment in Virtual Learning Environments with Educational Games," in *Intelligent Learning Systems and Advancements in Computer-Aided Instruction*, IGI Global, 2013, pp. 144–163.
- [21] M. Manso Vazquez, M. Caeiro Rodriguez, and M. Llamas Nistal, "Development of a xAPI application profile for self-regulated learning requirements for capturing SRL related data," in *2015 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 2015, pp. 358–365.
- [22] "xAPI-About @ github.com." [Online]. Available: <https://github.com/adlnet/xAPI-Spec/blob/master/xAPIAbout.md#partone>.
- [23] B. Coulter, E. Klopfer, J. Sheldon, and J. Perry, "Discovering Familiar Places," in *Games, Learning, and Society*, C. Steinkuehler, K. Squire, and S. Barab, Eds. Cambridge: Cambridge University Press, 2016, pp. 327–354.
- [24] T. Althoff, R. W. White, and E. Horvitz, "Influence of Pokémon Go on Physical Activity: Study and Implications," *J. Med. Internet Res.*, vol. 18, no. 12, p. e315, Dec. 2016.



Iván José Pérez Colado es Ingeniero de Software y Máster en Ingeniería Informática por la Universidad Complutense de Madrid (2014, 2016). Es doctorando e investigador contratado del proyecto H2020 Beaconing. Sus áreas de investigación son la autoría de juegos serios (uAdventure) y las técnicas y estándares de Learning Analytics.



Baltasar Fernández Manjón es doctor en Ciencias Físicas (especialidad de Cálculo Automático) por la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Es director del grupo de investigación en e-learning e-UCM y director de la Cátedra Telefónica-Complutense en Educación Digital y Juegos Serios. Sus líneas de investigación principales son las tecnologías para e-learning, los estándares educativos y las aplicaciones de los juegos y simulaciones educativas (o serious games), temas sobre los que ha publicado más de 180 artículos en revistas y congresos internacionales. Dr. Fernández Manjón es IEEE Senior Member,



Iván Martínez Ortiz es Ingeniero en Informática (2004) (premio extraordinario) y Doctor en Informática (2011). Actualmente es Profesor Contratado Doctor en el Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial de la Universidad Complutense de Madrid. Sus intereses de investigación se centran en la innovación educativa mediante el uso de las nuevas tecnologías, con especial énfasis en los juegos serios, analíticas de aprendizaje, los estándares de eLearning. Ha publicado más de 50 artículos relacionados sobre estos temas.



Manuel Freire Morán obtuvo su Doctorado en Informática por la Universidad Autónoma de Madrid. Actualmente es profesor asociado en la Universidad Complutense de Madrid y forma parte del grupo de investigación e-UCM. Ha publicado más de 40 artículos de investigación en sus áreas de interés, las cuales incluyen: e-Learning, juegos serios, analíticas de aprendizaje y su visualización, e interacción persona-ordenador.



Víctor Manuel Pérez Colado es Ingeniero de Software (2014) (premio extraordinario) y Máster en Informática (2017). Apasionado de los videojuegos, es actualmente Doctorando en el Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial de la Universidad Complutense de Madrid. Su investigación se centra en la innovación de los juegos serios a través del geoposicionamiento, uAdventure y Learning Analytics.

Capítulo 4

Contribuições para a Gestão de Inundações em Sistemas Urbanos de Drenagem através do Controlo de Barreiras Subterrâneas

Joaquim Leitão, Alberto Cardoso, José Alfeu Sá Marques e Nuno Simões

Title—Contributions to Flood Management in Urban Drainage Systems through the Control of Underground Barriers.

Abstract — The current work studies an innovative usage for urban drainage systems, in which a control system was used to control a set of barriers with the purpose of retaining water in upstream conduits, reducing the overload degree of downstream sections. Presented results show that it is possible to prevent flood events in the considered scenarios and within certain limits. When this task becomes impossible water withdrawals to external retention basins can be promoted. This approach can also be considered as an innovative topic in the program of some subjects of engineering courses.

Keywords— Rule-Based Control Systems, Urban Floods, Urban Drainage Systems,

Abstract— O presente trabalho estuda uma utilização inovadora para sistemas de drenagem urbana, onde se recorre a um sistema de controlo para controlar um conjunto de barreiras com o objetivo de reter água em secções a montante dos coletores, reduzindo o seu estado de sobrecarga em secções a jusante. Os resultados apresentados sugerem que é possível gerir eventos de inundações nos cenários considerados, dentro de certos limites. Na sua impossibilidade, pode ser promovida a saída de água para bacias de retenção externas. Esta abordagem também pode ser considerada como um assunto inovador a incluir no programa de disciplinas de cursos de engenharia.

Keywords— Inundações Urbanas, Sistemas de Controlo Baseados em Regras, Sistemas de Drenagem Urbana

Este trabalho foi apresentado originalmente na Experiment@ International Conference 2017 (exp.at'17).

Joaquim Leitão e Alberto Cardoso são membros do Centre for Informatics and Systems of the University of Coimbra (CISUC) e do Departamento de Engenharia Informática da Universidade de Coimbra, Portugal, jpleitao@dei.uc.pt e alberto@dei.uc.pt.

I. INTRODUÇÃO

PODEMOS definir uma inundação como um evento no qual uma determinada área terrestre, que normalmente se encontra seca, é coberta (parcial ou totalmente) por um volume excedente de água. Quando tais eventos ocorrem em ambientes urbanos dizemos que estamos perante um fenómeno de inundação urbana.

Ao longo dos anos, fenómenos de alterações climáticas e crescimento urbano têm promovido um aumento da frequência e intensidade deste tipo de eventos, resultando num aumento dos volumes de água escoados até aos Sistemas de Drenagem Urbana (SDU) existentes [1]. Quando este volume excede a capacidade de drenagem do sistema, este entra em sobrecarga promovendo a saída de água para o seu exterior.

Quando ocorrem com maior intensidade, as inundações urbanas podem ter um forte impacto nestes meios, por exemplo danificando infraestruturas e habitações. As inundações urbanas também representam um risco para as pessoas sendo, em eventos mais extremos, responsáveis pela perda de vidas humanas.

Em muitas áreas urbanas, as infraestruturas que compõem os SDUs carecem de um aumento do caudal máximo que podem transportar em cada momento, uma vez que não se apresentam capazes de responder com eficácia a eventos de precipitação mais intensa.

Uma possível solução para este problema visa aumentar a sua dimensão, permitindo que um maior volume de água seja transportado em cada momento. No entanto, os principais obstáculos para a implementação destas medidas estão relacionados com o elevado custo financeiro e com a dificuldade em aceder fisicamente aos SDUs (uma vez que seria necessário aceder a condutas subterrâneas forçando, por exemplo, a interdição de vias de comunicação).

Soluções de outra natureza, que não obriguem a intervenções extensas e dispendiosas nestas infraestruturas,

José Alfeu Marques e Nuno Simões são membros do Marine and Environmental Sciences Centre (MARE) e do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Portugal, jasm@dec.uc.pt e nunocs@dec.uc.pt.

Joaquim Leitão reconhece e agradece o financiamento para este trabalho, suportado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), através da bolsa de doutoramento SFRH/BD/122103/2016.

têm sido estudadas e investigadas pela comunidade científica. De entre as soluções estudadas, destacamos abordagens que procuram utilizar o próprio sistema de drenagem para retardar a propagação da água, promovendo a instalação e controlo de um sistema de barreiras em condutas subterrâneas. Soluções desta natureza contrariam uma utilização mais tradicional e passiva dos SDUs.

A adoção de soluções com este carácter inovador, procurando utilizar as próprias infraestruturas do sistema de drenagem para reter e retardar a propagação de água, pode ser equacionada desde a fase de projeto do próprio sistema. Para isso, é necessário que sejam realizados estudos adequados do comportamento das componentes instaladas nas condutas, e de estratégias a adotar para o seu controlo, identificando a viabilidade destas soluções nos diferentes cenários considerados. Estas estratégias podem ser consideradas como assuntos inovadores a incluir no programa de algumas disciplinas de cursos de engenharia, nomeadamente em disciplinas de hidráulica, no âmbito da formação em Engenharia Civil.

Neste sentido, o trabalho apresentado propõe um exercício académico onde se estuda a implementação de um conjunto de barreiras em condutas subterrâneas, com o objetivo de retardar a propagação de água através do sistema de drenagem.

O presente documento apresenta a seguinte estrutura: na Secção II é realizada uma breve descrição e apresentação do problema a tratar, fazendo referência às suas motivações. A Secção III é reservada a uma breve apresentação e descrição do estado da arte, destacando as principais contribuições nos tópicos abrangidos por este trabalho. A configuração experimental e o desenvolvimento do sistema de controlo serão abordados na Secção IV, sendo a Secção V reservada à validação do sistema desenvolvido. Por fim, a Secção VI apresenta observações e reflexões finais sobre o trabalho realizado e descrito.

II. MOTIVAÇÃO

Como mencionado na secção anterior, este trabalho visa estudar a instalação de barreiras em condutas subterrâneas de SDU com vista a retardar a propagação de água ao longo destes sistemas. Desta forma pretendemos diminuir o volume de água transportado até às secções mais a jusante destes sistemas, tirando partido do volume de armazenamento que, normalmente, se encontra disponível em secções mais a montante.

Para além do menor impacto financeiro que soluções desta natureza representam (quando em contraste com uma extensão ou aumento da capacidade das condutas existentes), ao promovermos a criação de “buffers” no próprio sistema de drenagem estamos a reduzir o volume de água que teria que ser escoado até tanques de retenção (caso estes existissem). Uma vez armazenada nestas estruturas, poderia ser necessário desencadear ações de tratamento de água com vista a manter os seus níveis de qualidade dentro de limites estipulados.

Em caso de se verificar uma sobrecarga do sistema de drenagem, com a retardação da propagação de água será espectável uma redução do volume que, em cada momento, emerge à superfície. Desta forma estamos a contribuir para

uma atenuação dos efeitos negativos da acumulação de água à superfície, durante eventos de inundações urbanas:

Por um lado, a água pode servir como meio propício à propagação de bactérias e outras substâncias nocivas, pelo que a redução do seu volume pode contribuir para uma redução da contaminação da água, de pessoas e animais; por outro lado, um menor volume de água à superfície também pode representar menos danos causados em ruas e infraestruturas localizadas no exterior, bem como a indivíduos, às suas habitações e aos seus bens.

III. ESTADO DA ARTE

Nesta secção procede-se à apresentação e discussão das principais contribuições registadas no tópico de controlo de SDU.

Na literatura estudada, conceitos como *Real-Time Control Systems* (RTCS) assumem um papel de destaque. Em suma, estes sistemas operam em malha fechada, determinando as ações de controlo a realizar tendo em vista atingir um determinado objetivo [2]. Estas ações de controlo são determinadas com base no estado atual do sistema e em dados de entrada recolhidos no próprio sistema e no ambiente que o rodeia.

Butler e Schütze [3] apresentam duas abordagens distintas para a formulação de um algoritmo de controlo em tempo-real de sistemas de drenagem: abordagens de controlo *online* e *offline*.

As abordagens de natureza *online* - também referidas como estratégias de *Otimização* no âmbito desta discussão - recorrem a estratégias formais de otimização, aplicadas sobre os dados de entrada e o estado do sistema. Em alguns casos este processo de otimização também faz uso de previsões de estados futuros do sistema, requerendo para isso um modelo que reflita adequadamente a dinâmica do sistema. Tendo em conta a componente de tempo-real destas estratégias, este processo de otimização tem de ser executado numa janela temporal restrita, refletindo-se muitas vezes na adoção de um modelo mais simples, não traduzindo de forma tão detalhada o comportamento do sistema, mas aliviando o peso computacional associado à sua utilização.

García *et al.* [1] destacam seis grupos distintos de técnicas online aplicadas no controlo em tempo-real de sistemas de drenagem: *Escalarização* [8], *Métodos Ótimos de Pareto* [9], *Algoritmos Evolucionários* [6, 11, 19], *Population Dynamics-Based Control* [12], *Reguladores Quadráticos Lineares* [13, 14] e *Modelo de Controlo Preditivo* [8, 15, 16, 17, 18].

Em contraste, nas abordagens *offline* - também referidas como estratégias baseadas em *Regras* no âmbito desta discussão - as ações de controlo a serem implementadas já se encontram previamente definidas, sendo tipicamente expressas por um conjunto de regras do tipo “se-então” (“*if-then*”) ou por uma matriz de decisão. Perante dados de entrada e atendendo ao estado atual do sistema, os algoritmos *offline* determinam que regras devem ser aplicadas em cada momento. Tipicamente, estas regras são definidas conciliando conhecimento prévio do comportamento do sistema com um processo de tentativa-e-erro [4, 5]. Na impossibilidade de aplicação de abordagens de otimização (por exemplo, na impossibilidade de obtenção de um modelo

adequado do sistema), estratégias desta natureza devem ser aplicadas.

Neste contexto, o desenvolvimento de regras apoiadas em lógica difusa destaca-se na literatura estudada. Tal como em problemas de controlo de outra natureza, a adoção de lógica difusa permite a modelação de relações de pertença não-crespas, apresentando semelhanças com o raciocínio humano [6]. A título de exemplo, mencionamos o trabalho de Fuchs *et al.* [7], onde uma série de regras apoiadas em lógica difusa foram propostas para o controlo em tempo-real de um sistema de esgotos.

IV. METODOLOGIA

O estudo conduzido neste trabalho foi realizado sobre um caso prático, que será detalhado e discutido na presente seção. Este estudo foi realizado em ambiente de simulação, pois por questões de segurança e de dificuldade de acesso não foi possível efetuar este trabalho em ambiente real.

Assim, no âmbito do presente trabalho recorremos a modelos hidráulicos para simular o comportamento de um sistema de drenagem num ambiente representativo de uma situação real. Para modelação dos sistemas de drenagem considerados neste trabalho recorremos à ferramenta *Storm Water Management Model (SWMM)* ¹.

Relativamente ao controlo das barreiras, o sistema de controlo desenvolvido necessita de recolher informações relativas ao sistema de drenagem a controlar (nomeadamente o nível e o caudal nas condutas, recorrendo a caudalímetros e outros equipamentos para o efeito – Figura 1), bem como informação meteorológica relativa à precipitação no local em estudo (obtida recorrendo a pluviómetros instalados no local em estudo – Figura 2).

De acordo com as abordagens propostas por Butler e Schütze, apresentadas na secção anterior, no âmbito do presente trabalho foram desenvolvidas estratégias de controlo *offline*, isto é, baseado em regras. A principal razão para esta escolha tem que ver com a complexidade dos modelos hidráulicos considerados, que dificultam a formulação de um modelo do sistema a ser utilizado em técnicas de otimização. Assim, e tal como sugerido por García *et al.* [1], na impossibilidade de definir um modelo adequado para o sistema devemos recorrer à definição de um conjunto de regras, explorando conhecimento especializado do comportamento do sistema num processo iterativo de



Fig. 1. Caudalímetro¹.



Fig. 2. Pluviómetro¹.

tentativa-e-erro. Para implementar as regras de controlo geradas durante a simulação dos modelos hidráulicos gerados, recorremos à biblioteca *MATSWMM* ².

O que resta da presente seção encontra-se organizado da seguinte forma: na subseção IV-A a configuração experimental será apresentada e discutida, incluindo uma breve apresentação do modelo hidráulico gerado para o caso de estudo; de seguida, na subseção IV-B o sistema de controlo desenvolvido será apresentado, bem como as regras que regem a sua atividade.

A. Configuração Experimental

Neste estudo existe um ponto que não pode deixar de ser referido e que condiciona a definição da configuração experimental para este trabalho: a utilização de barreiras em condutas subterrâneas para os fins descritos neste documento apenas será viável em situações em que sejam registados níveis de água muito elevados em condutas localizadas em seções a jusante do sistema (podendo inclusivamente verificar-se a saída de água do sistema de drenagem para a superfície), mas em que as condutas em seções a montante disponham de volume de armazenamento suficiente para reduzir significativamente os níveis a jusante. Se, por exemplo, as condutas a montante não possuírem volume de armazenamento suficiente, a utilização das barreiras para este fim poderá ser mais prejudicial do que a sua não-utilização, uma vez que vão promover uma subida no nível de água a montante (podendo promover uma sobrecarga do sistema nessas seções).

Assim, foi considerado o seguinte cenário apresentado na Figura 3.

Nesta figura apresenta-se um modelo hidráulico de drenagem dual composto por uma componente subterrânea (condutas, parte inferior da imagem) e uma componente de superfície (canais abertos, parte superior da imagem). Estas duas componentes encontram-se ligadas através de caixas de visita, que permitem o escoamento das condutas para a superfície e vice-versa. Sobre o lado direito da imagem podemos verificar a existência de uma bacia de drenagem (quadrado grande sombreado), onde a água precipitada é recolhida e encaminhada para o sistema de condutas. Tal como indicado na figura, a água entra no sistema na conduta na extremidade direita, fluindo para as condutas seguintes (direita-esquerda).

O sistema de drenagem apresentado é constituído por um total de 7 condutas (com correspondentes 7 canais abertos, na sua componente de superfície), 2 barreiras (localizadas na segunda e quarta condutas) e 12 *outlets* (estruturas definidas na ferramenta SWMM para assegurar a comunicação entre as componentes subterrânea e superficial do sistema de drenagem).

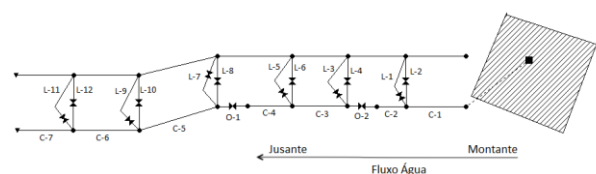


Fig. 3. Esquema do modelo hidráulico utilizado

¹<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>

²<https://github.com/water-systems/MatSWMM>

Considerando a área definida por cada conduta como uma secção do sistema, podemos identificar a existência de 2 tipos distintos de secções: planas e inclinadas. Numa fase inicial o sistema apresenta um conjunto de 4 secções planas, com uma inclinação de cerca de 0.3%, seguido de uma descida acentuada, onde se regista uma inclinação de cerca de 12%. Por fim, nas duas últimas secções podemos encontrar de novo secções planas. Esta configuração do sistema é importante na Fig. 3. Esquema do modelo hidráulico utilizado.

aplicação das barreiras: efetivamente, como resultado de experiências conduzidas numa fase inicial do trabalho, verificámos que a existência de uma secção (ou mais) com uma inclinação mais acentuada aumenta o efeito de retenção de água das barreiras. Para as condições consideradas, em cenários onde todo o sistema de drenagem apresenta secções planas, parece existir uma maior tendência para a sobrecarga das secções mais a montante. Mesmo quando esta sobrecarga se verifica nas secções a jusante, as condutas a montante não possuem volume disponível suficiente.

Tanto à superfície como em profundidade, cada secção dispõe de 40 metros de comprimento. À superfície, as secções são representadas por canais retangulares abertos com 5 m de largura, sendo que, em profundidade, as condutas consideradas dispõem de 3m de altura nas 5 primeiras secções (plana + inclinação) e apenas 2m de altura nas duas últimas secções (plana, a jusante).

Entre ligações de condutas ou canais abertos adjuntos podemos também identificar a presença dos já mencionados *outlets*. Podemos também identificar a colocação de duas barreiras, na segunda e quarta secções do sistema. Sendo colocadas dentro das condutas estas barreiras têm uma altura máxima igual à altura da conduta (portanto 3 metros neste caso).

O último ponto a ser referido na presente subsecção diz respeito aos eventos de precipitação utilizados para a simulação do sistema. Neste trabalho foram utilizados eventos de precipitação alusivos a “*flash floods*”, registando rápidas e fortes variações na intensidade de precipitação, marcados por períodos longos de precipitação menos intensa, contrariados por momentos de curta duração onde a intensidade de precipitação aumenta consideravelmente. No âmbito deste trabalho considerámos aumentos de precipitação desde os 10 mm/h até aos 80 mm/h, com durações para os períodos de precipitação intensa de 5, 10 ou 15 minutos. Na figura 4 apresentamos um exemplo de um perfil de precipitação com as características mencionadas.

B. Sistema de Controlo

Tendo em conta as 3 durações distintas para os períodos de precipitação intensa considerados, foram desenvolvidas

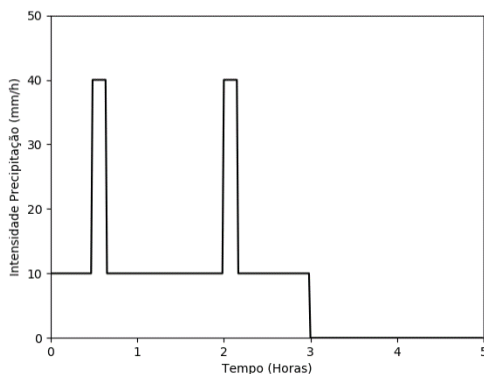


Fig. 4. Exemplo do perfil de precipitação considerado.

regras de atuação para cada uma das situações. Estas regras definem qual o nível a que cada barreira deve ser colocada, tendo em conta o nível de água nas condutas a montante (4 primeiras secções) antes do aumento de precipitação, o aumento da intensidade de precipitação e a duração do período de precipitação mais intenso.

As figuras 5, 6 e 7 apresentam as regras geradas. Estas regras resultam, tal como indicado no início desta secção, de um processo iterativo suportado por conhecimento especializado do funcionamento de sistemas de drenagem subterrâneos.

Nas figuras apresentadas, os valores de atuação são apresentados no formato *O-1 / O-2*, indicando a altura em relação à base da conduta a que cada uma das barreiras deve ser colocada.

No processo de geração das regras procurámos maximizar a retenção nas condutas a montante (portanto, baixar as barreiras o mais possível) sem que fosse verificada uma sobrecarga do sistema nas secções a montante.

V. VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLO

Após o desenvolvimento do sistema de controlo procedeu-se à sua validação, a fim de certificar o seu comportamento.

Este exercício é também importante para a determinação dos limites de atuação do sistema de controlo desenvolvido: pretende-se utilizar um sistema de barreiras para atenuar e acomodar os efeitos de precipitações intensas em SDUs; no entanto, se a precipitação registada for bastante elevada, a retenção de água nas secções a montante do sistema pode promover uma sobrecarga do sistema de drenagem nessas mesmas localizações. Esta situação indica que a capacidade de retenção nas condutas a montante foi ultrapassada, devendo o sistema a agir em conformidade (por exemplo, diminuindo a retenção de água nesses locais).

Ou seja, é necessário garantir que as ações calculadas pelo sistema desenvolvido são implementadas nas barreiras e, caso

Peak Increase	Level 0.1 m	Level 0.15 m	Level 0.2 m	Level 0.25 m	Level 0.3 m	Level 0.35 m	Level 0.4 m
10 mm/h	0.1/0.1	0.1/0.1	0.1/0.1	0.1/0.1	0.15/0.15	0.15/0.2	0.2/0.2
20 mm/h	0.1/0.1	0.1/0.1	0.1/0.1	0.1/0.1	0.15/0.15	0.2/0.2	0.2/0.2
30 mm/h	0.1/0.1	0.1/0.1	0.1/0.15	0.15/0.15	0.15/0.2	0.2/0.2	0.2/0.2
40 mm/h	0.1/0.15	0.1/0.15	0.15/0.2	0.15/0.2	0.15/0.2	0.2/0.25	0.2/0.25
50 mm/h	0.15/0.2	0.15/0.2	0.15/0.2	0.2/0.25	0.2/0.25	0.25/0.3	0.25/0.3
60 mm/h	0.15/0.2	0.15/0.2	0.2/0.25	0.2/0.25	0.2/0.25	-	-
70 mm/h	0.2/0.25	0.2/0.25	0.2/0.25	0.25/0.3	-	-	-
80 mm/h	0.2/0.25	0.2/0.25	-	-	-	-	-

Fig. 5. Regras para aumentos de intensidade de precipitação com duração de 5 minutos.

Peak Increase	Level 0.1 m	Level 0.15 m	Level 0.2 m	Level 0.25 m	Level 0.3 m	Level 0.35 m	Level 0.4 m
10 mm/h	0.1/0.1	0.1/0.1	0.1/0.1	0.1/0.1	0.15/0.15	0.2/0.2	0.2/0.2
20 mm/h	0.1/0.1	0.1/0.1	0.1/0.15	0.15/0.15	0.15/0.2	0.2/0.2	0.2/0.2
30 mm/h	0.1/0.15	0.15/0.15	0.15/0.2	0.15/0.2	0.15/0.2	0.2/0.25	0.25/0.25
40 mm/h	0.15/0.2	0.15/0.2	0.2/0.2	0.2/0.2	0.2/0.25	0.25/0.25	0.25/0.3
50 mm/h	0.15/0.2	0.2/0.2	0.2/0.25	0.25/0.25	0.25/0.25	0.25/0.3	0.3/0.3
60 mm/h	0.2/0.25	0.2/0.25	0.25/0.25	0.25/0.3	0.25/0.3	-	-
70 mm/h	0.25/0.3	0.25/0.3	0.25/0.3	0.3/0.3	-	-	-
80 mm/h	0.25/0.3	0.3/0.3	-	-	-	-	-

Fig. 6. Regras para aumentos de intensidade de precipitação com duração de 10 minutos.

Peak Increase	Level 0.1 m	Level 0.15 m	Level 0.2 m	Level 0.25 m	Level 0.3 m	Level 0.35 m	Level 0.4 m
10 mm/h	0.1/0.1	0.1/0.1	0.1/0.1	0.15/0.15	0.15/0.15	0.2/0.2	0.2/0.2
20 mm/h	0.1/0.1	0.1/0.15	0.15/0.15	0.15/0.15	0.15/0.2	0.2/0.2	0.2/0.25
30 mm/h	0.15/0.15	0.15/0.15	0.15/0.2	0.2/0.2	0.2/0.2	0.2/0.25	0.25/0.25
40 mm/h	0.2/0.2	0.15/0.2	0.2/0.2	0.2/0.25	0.2/0.25	0.25/0.3	0.25/0.3
50 mm/h	0.2/0.2	0.2/0.2	0.2/0.25	0.25/0.25	0.25/0.25	0.3/0.3	0.3/0.35
60 mm/h	0.2/0.25	0.25/0.25	0.25/0.25	0.25/0.3	0.3/0.3	-	-
70 mm/h	0.25/0.3	0.25/0.3	0.3/0.3	0.3/0.35	-	-	-
80 mm/h	0.3/0.3	0.3/0.35	-	-	-	-	-

Fig. 7. Regras para aumentos de intensidade de precipitação com duração de 15 minutos.

seja detetado algum problema nas mesmas (impossibilidade de mover a barreira para a posição indicada, por exemplo) o sistema deverá terminar a sua atividade, emitindo uma mensagem de aviso direcionada para a entidade responsável pela manutenção desta infraestrutura (para que o problema detetado possa ser verificado e corrigido). Este ponto não foi considerado no trabalho desenvolvido e aqui reportado, tendo sido privilegiado o desenvolvimento das regras de atuação do sistema. Em desenvolvimentos futuros este ponto é, sem dúvida, um caminho que deve ser explorado.

Assim, a validação do sistema desenvolvido compreendeu os seguintes passos:

- 1) Verificação do funcionamento do sistema, submetendo-o a cenários utilizados na geração das suas regras.
- 2) Identificação dos limites de operação do sistema, promovendo a sobrecarga de secções a jusante, cujos efeitos são acomodados pelo sistema.
- 3) Identificação de cenários que ultrapassam os limites de atuação do sistema.

As subsecções que se seguem abordam cada um dos passos apresentados.

A. Verificação do Funcionamento do Sistema

Numa fase inicial da validação do sistema, recorremos a eventos de precipitação utilizados na geração das suas regras.

Uma vez que na geração das regras foram definidas alturas para as barreiras de forma fixa, nesta fase pretendíamos comparar os níveis de águas nas condutas registados com essa abordagem, comparando com os níveis de água nas condutas obtidos quando cabia ao sistema decidir, em cada momento, a que altura colocar as barreiras.

De acordo com o esperado, obtivemos resultados muito semelhantes entre as duas abordagens, registando-se resultados tendencialmente melhores (isto é, níveis de água nas condutas a jusante mais baixos) nas situações em que o sistema geria de forma autónoma as barreiras. Na figura 8 apresenta-se um gráfico ilustrativo desta tendência.

Tanto para a geração das regras como na aplicação do sistema desenvolvido, considera-se um evento de precipitação com dois períodos de maior intensidade, sendo que apenas se procedeu ao controlo das barreiras no segundo período. Desta forma podemos comparar, de forma mais imediata, os resultados das ações de controlo conduzidas com uma situação de ausência total de controlo (utilização passiva do sistema de drenagem).

B. Sobrecarga em Secções a Jusante

Com o objetivo de identificar a os limites de operação do sistema, considerou-se um caudal adicional de água constante, com entrada no sistema após a quarta secção (posterior à última barreira). Variámos o volume de água considerado, promovendo uma sobrecarga do sistema nas secções a jusante. Assim, procurámos perceber até que valores o sistema por nós desenvolvido era capaz de reter água nas condutas a montante em volume suficiente para acomodar este caudal adicional.

Tomámos como ponto de partida eventos de precipitação com menor intensidade onde, sem realizar qualquer ação sobre as barreiras, a água nas condutas a jusante atingia alturas de 40 a 50% da altura das condutas e caudais de cerca

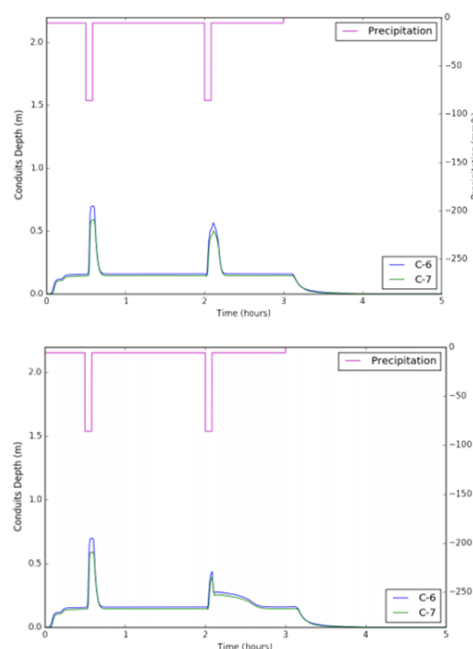


Fig. 8. Níveis de água nas condutas a jusante registados durante a geração das regras de controlo (Topo) e com a aplicação do sistema de controlo desenvolvido (Baixo).

de $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$. Os valores considerados para o caudal adicional de água variaram entre os $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ e os $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Constatou-se que o sistema desenvolvido era capaz de acomodar caudais adicionais até $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$, ou seja, 1.2 vezes mais caudal do que o que já se encontrava no sistema. Na figura 9 é apresentado um gráfico de uma destas situações. Em alguns cenários situações foi possível acomodar caudais adicionais até $1.4 \text{ m}^3/\text{s}$, dependendo da intensidade de precipitação considerada.

C. Sobrecarga em Secções a Montante

Tal como descrito no início da presente secção, o sistema de controlo sobre o qual este trabalho incide foi desenvolvido com o propósito de reter água em condutas de secções a montante de um sistema de drenagem. Uma limitação clara deste sistema está relacionada com o volume de armazenamento das próprias condutas: perante um evento de precipitação onde o volume de água direcionado para o sistema de drenagem é superior ao volume que este tem disponível para armazenamento, torna-se evidente que proceder à retenção de água em secções a montante irá promover a sua sobrecarga e consequente saída de água para o exterior.

Uma situação com estas características sugere que os limites de operação do sistema desenvolvido foram ultrapassados, devendo o sistema ser capaz de reconhecer e agir em conformidade.

Neste sentido, o último conjunto de experiências realizado visou sujeitar o sistema de drenagem a um evento de precipitação bastante intenso, que promovesse uma sobrecarga nas suas secções a montante, refletida num fluxo ascendente de água em direção à superfície.

Como se pode constatar na figura 10, quando confrontado com esta situação, o sistema desenvolvido é capaz de identificar com sucesso e promover uma abertura total das barreiras, permitindo assim que o volume excedente de água nas secções a montante possa fluir, sem obstáculos, pelo sistema.

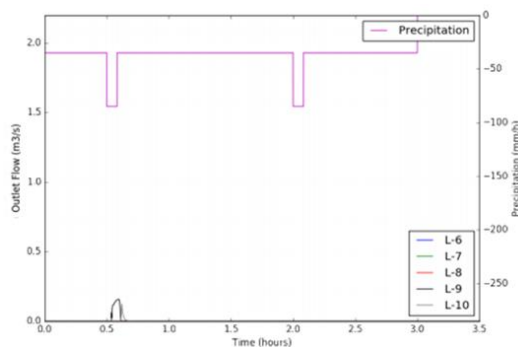


Fig. 9. Caudais registados nas caixas de visita de secções a jusante do sistema, que estabelecem a ligação entre as componentes superficiais e subterrâneas do sistema de drenagem. Um caudal positivo indica a existência de um fluxo ascendente de água em direção à superfície.

A título de exemplo, considerámos ainda uma barreira adicional, localizada na primeira secção, que apenas seria aberta neste tipo de situações, permitindo o escoamento dos volumes excedentes de água para estruturas externas de armazenamento (como tanques de retenção ou lagos artificiais).

VI. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi estudada a implementação de um conjunto de barreiras em condutas subterrâneas, com o objetivo de retardar a propagação de água através de um sistema de drenagem urbano. Para o efeito desenvolveu-se um sistema de controlo, que em cada momento determina como controlar as referidas barreiras tendo em conta o nível de água nas condutas que compõem o sistema de drenagem e a intensidade de precipitação registada no local em questão.

Analisando os resultados reportados pode verificar-se que o sistema desenvolvido é capaz de proporcionar retenções de água consideráveis e que permitem acomodar caudais adicionais bastante elevados. Em simultâneo, o sistema mostrou ser capaz de detetar os seus limites de atuação, cessando as suas operações quando os mesmos são ultrapassados.

Para os cenários considerados a estratégia utilizada revelou-se capaz de prevenir, dentro de certos limites, a ocorrência de inundações urbanas potenciadas por fenómenos de expansão urbana e alterações climáticas. Em meios urbanos estes fenómenos promovem eventos de precipitação intensos e aumentos significativos dos caudais nos SDUs, situação que o sistema desenvolvido permite acomodar (novamente, dentro de certos limites).

Em comparação com as estratégias indicadas na primeira secção deste documento - que visam aumentar a capacidade de escoamento dos sistemas de drenagem aumentando a dimensão das condutas - é natural que um sistema de drenagem possuindo condutas de maior dimensão seja capaz de acomodar eventos de precipitação mais intensos, no entanto, atendendo aos custos associados ao aumento da dimensão das condutas, a estratégia seguida apresenta-se como uma alternativa interessante e com menos obstáculos à sua concretização (tanto de um ponto de vista económico como aplicacional).

A abordagem seguida e apresentada neste documento poderá ser explorada e aplicada em tarefas de projeto de sistemas de drenagem para ambientes urbanos (e não só). Ao

invés de se restringir a uma utilização passiva deste tipo de infraestruturas, desde o seu projeto que a instalação de barreiras pode ser equacionada, levando a cabo estudos que visem determinar se a utilização destas estruturas permite aumentar significativamente os caudais que o sistema consegue escoar e garantir que a utilização de soluções desta natureza não tem um papel prejudicial perante eventos de precipitação fora dos seus limites.

Perante a apresentação e discussão conduzidas ao longo deste documento, existem diversas possíveis direções que poderão ser exploradas em iterações futuras deste trabalho, com benefícios para tarefas de manutenção e projeto de SDUs.

Uma primeira possibilidade envolve a aplicação dos princípios aqui apresentados a cenários com diferentes características, nomeadamente envolvendo sistemas de drenagem de maiores dimensões. A colocação de barreiras em pontos de junção de dois ou mais ramais promovendo uma retardação dos caudais nesses pontos poderá permitir reduções significativas dos caudais e nível de água em secções mais a jusante do sistema. Da mesma forma que nos cenários estudados, poderá ser possível acomodar eventos de precipitações mais intensas e/ou aumentos dos caudais escoados até estes sistemas.

A extensão a casos de estudo envolvendo sistemas de drenagem de maiores dimensões permite também explorar estratégias de controlo diferentes das estudadas neste trabalho. Perante um sistema de grandes dimensões a aplicação de estratégias de controlo distribuído deve ser considerada. Neste contexto, podem ser desenvolvidos vários sistemas de controlo, organizados de forma hierárquica. Num nível inferior, controladores semelhantes aos apresentados podem ser atribuídos a determinadas regiões; enquanto que um ou, possivelmente, mais controladores operam a um nível hierárquico superior, sendo responsáveis pela monitorização dos demais e pela supervisão dos seus objetivos individuais de controlo.

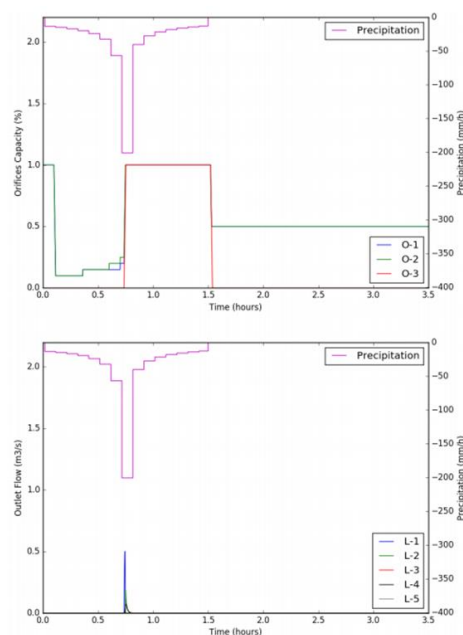


Fig. 10. Sobrecarga em secções a montante do SDU. Quando a água flui para a superfície do SDU (parte inferior), o sistema de controlo para todas as ações de controlo e abre as barreiras, de modo que o excesso de água possa ser drenado do sistema (topo).

REFERÊNCIAS

- [1] L. García, et al. "Modeling and real-time control of urban drainage systems: a review." *Advances in Water Resources*, 85 (2015): 120–132.
- [2] S. Chon. "What it takes to do efficient and cost-effective real-time control with a single microcontroller: the c2000TM advantage." Texas Instruments Inc., Dallas, Texas, 2011.
- [3] D. Butler and M. Schütze. "Integrating simulation models with a view to optimal control of urban wastewater systems." *Environmental modelling & software*, 20.4 (2015): 415–426.
- [4] M. Schütze and T. Einfalt. "Off-line development of rtc strategies—a general approach and the aachen case study." In *Proc. the Eighth International Conference on Urban Storm Drainage*, 1999.
- [5] P. Borsanyi, et al. "Modelling real-time control options on virtual sewer systems." *Journal of Environmental Engineering and Science*, 7(4):395–410, 2008.
- [6] M. Regneri, K. Klepizewski, M. Ostrowski, and P. Vanrolleghem. "Fuzzy decision making for multi-criteria optimization in integrated wastewater system management." In *6th International Conference on Sewer Processes and Networks*, 2010.
- [7] L. Fuchs, T. Beeneken, P. Spönnemann, and C. Scheffer. "Model based real-time control of sewer system using fuzzy-logic." *Water science and technology*, 36(8):343–347, 1997.
- [8] C. Ocampo-Martinez. "Model predictive control of wastewater systems." Springer Science & Business Media, 2010.
- [9] D. Muschalla. "Optimization of integrated urban wastewater systems using multiobjective evolution strategies." *Urban Water Journal*, 5(1):59–67, 2008.
- [10] J. Cho, K. Sung, and S. Ha. "A river water quality management model for optimising regional wastewater treatment using a genetic algorithm." *Journal of Environmental Management*, 73(3):229–242, 2004.
- [11] G. Fu, D. Butler, and S. Khu. "Multiple objective optimal control of integrated urban wastewater systems." *Environmental Modelling & Software*, 23(2):225–234, 2008.
- [12] E. Ramírez-Llanos and N. Quijano. "A population dynamics approach for the water distribution problem." *International Journal of Control*, 83(9):1947–1964, 2010.
- [13] M. Marinaki and M. Papageorgiou. "Linear-quadratic regulators applied to sewer network flow control." In *Proceedings of the European Control Conference (ECC)*, 2003, pages 2407–2412.
- [14] J. Lemos and L. Pinto. "Distributed linear-quadratic control of serially chained systems: application to a water delivery canal [applications of control]." *Control Systems, IEEE*, 32(6):26–38, 2012.
- [15] D. Fiorelli and G. Schutz. "Real-time control of a sewer network using a multi-goal objective function." In *Proceedings of the 17th Mediterranean Conference on Control and Automation*, 2009.
- [16] J. Giraldo, S. Leirens, M. Díaz-Grenados, and J. Rodríguez. "Nonlinear optimization for improving the operation of sewer systems: the bogotá case study." *International environmental modelling and software society (iEMSs)*, 2010.
- [17] K.-J. van Heeringen, J. Gooijer, and D. Schwanenberg. "Practical application of drainage system control by using mpc in noorderzijkvest." In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, volume 15, page 11965, 2013.
- [18] C. Ocampo-Martinez, V. Puig, G. Cembrano, and J. Quevedo. "Application of predictive control strategies to the management of complex networks in the urban water cycle [applications of control]." *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2013.
- [19] C. Heon, K. Sung, and S. Ha. "A river water quality management model for optimising regional wastewater treatment using a genetic algorithm." *Journal of Environmental Management* 73.3 (2004): 229–242.



José Alfeu Sá Marques nasceu em Viseu, Portugal. Concluiu a licenciatura (um diploma de cinco anos) em Engenharia Civil e obteve o grau de Docteur en Sciences Appliquées pela Universidade de Liège-Bélgica, e de Doutor em Ciências de Engenharia Civil, especialidade de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente pela Universidade de Coimbra.

É Professor Auxiliar com *Tenure* da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e membro sénior do MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, membro Conselheiro da Ordem dos Engenheiros e Especialista em Hidráulica e Recursos Hídricos da mesma Ordem de cuja especialização é Coordenador Adjunto.

Os interesses de investigação são a Hidráulica Urbana, os Aproveitamentos Hidroelétricos e a Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos.

O Prof. Alfeu Sá Marques é Coordenador do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente e do Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente da FCTUC. Foi Vice-Presidente da Direção da Associação Portuguesa de Engenharia Sanitária e Ambiental (APESB).

Nuno Eduardo da Cruz Simões, Professor Auxiliar do DEC da FCT-UC, é licenciado (pré-Bolonha) em Engenharia Civil e Mestre (pré-Bolonha) em Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente pela Universidade de Coimbra e Doutoramento em Engenharia Civil pelo Imperial College London.



Recebeu o Prémio CGD / Manuel Pedro Homem para o aluno da Licenciatura em Engenharia Civil da UC com a classificação final mais elevada em 2003, o prémio internacional "The Poul Harremoës Award for Best Urban Drainage Paper by a Young Author", organizado pelo comité conjunto de Drenagem Urbana da IWA/IAHR na 12.ª Conferência Internacional em Drenagem Urbana (12th ICUD, 2011) e o prémio APRH 2014 para a melhor tese de doutoramento defendida em Portugal, ou por um aluno português numa Universidade estrangeira, no biénio 2012/2013.

Desenvolve investigação em projetos nacionais e internacionais e consultoria com empresas e entidades nacionais no âmbito da hidráulica urbana, cheias e sistemas de abastecimento e de drenagem. É autor de várias publicações em revistas científicas e congressos, nacionais e internacionais.



Joaquim Leitão nasceu em Coimbra, Portugal. Recebeu os graus de Licenciado e Mestre em Engenharia Informática pela Universidade de Coimbra. Atualmente, encontra-se a frequentar o Programa Doutoral em Ciências e Tecnologias da Informação do Departamento de Engenharia Informática da Universidade de Coimbra.

É Professor Assistente Convidado da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e membro do Centro de Informática e Sistemas da Universidade de Coimbra.

Os seus interesses de investigação incluem sistemas ciber-físicos, sistemas multi-agentes, sistemas inteligentes envolvendo intervenção humana (*human-in-the-loop*) e redes de sensores e atuadores sem fios.



Alberto Cardoso nasceu em Coimbra, Portugal. Recebeu o grau de Licenciado (um diploma de cinco anos) em Engenharia Electrotécnica, o de Mestre em Sistemas e Tecnologias da Informação, com especialidade em Sistemas e Controlo, e o de Doutor em Engenharia Informática pela Universidade de Coimbra.

É Professor Auxiliar com *Tenure* da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e membro sénior do Centro de Informática e Sistemas da Universidade de Coimbra e da International Society for Engineering Pedagogy (IGIP).

Os seus interesses de investigação incluem sistemas de controlo inteligentes e tolerantes a falhas em rede, redes de sensores e atuadores sem fios, sistemas multi-agentes, análise de dados e laboratórios remotos e virtuais.

O Prof. Cardoso recebeu o título de "International Engineering Educator Honoris Causa" ("Ing.Paed.IGIP h.c.") pela International Society for Engineering Pedagogy (IGIP) e foi Presidente da Direção da Sociedade Portuguesa para Educação em Engenharia.

Página en Blanco

Cápítulo 5

Una Federación de Laboratorios Remotos VISIR a través del Proyecto PILAR

Wlodek J. Kulesza, Ingvar Gustavsson, Maria Arcelina Marques, Gustavo R. Alves, André V. Fidalgo, Unai Hernandez-Jayo, Javier Garcia-Zubia, Christian Kreiter, Ramona Oros, Andreas Pester, Danilo Garbi Zutin, Prof. Dr. (mult) Michael E. Auer, Carla Garcia-Hernandez, Ricardo Tavío Gallo, Marjo Savela, Felix Garcia Loro, Alejandro Macho Aroca, Elio San Cristobal Ruiz y Gabriel Díaz

Resumen—Este documento describe cómo un nuevo proyecto Erasmus+, PILAR (Platform Integration of Laboratories based on the Architecture of visiR), está siendo desarrollado y cómo la puesta en marcha del partenariado y del proyecto está reforzando la red VISIR (Virtual Instrument Systems in Reality) y el Grupo de Interés Especial de VISIR bajo el Consorcio de Laboratorios online (GOLC - Global Online Laboratory Consortium) de la Asociación Internacional de Ingeniería Online (IAOE - International Association of Online Engineering). La Universidad Española para la Educación a Distancia (UNED) coordina este proyecto que tiene como objetivo federar los sistemas existentes (o nuevos) con el fin de utilizar los recursos de manera más efectiva y eficiente, haciendo transparente para el usuario final la elección de los recursos compartidos.

Palabras clave—Laboratorios remotos; VISIR; electrónica general y analógica; federación de laboratorios; Red de Laboratorios remotos.

I. INTRODUCCIÓN

EL Instituto Tecnológico de Blekinge (BTH), en Blekinge, Suecia, lanzó a finales de 2006 un proyecto llamado Virtual Instrument Systems in Reality (VISIR). El objetivo de este proyecto era combatir el déficit de titulados preparados y cualificados en áreas técnicas. Ese déficit también fue de alguna manera responsable del aumento del desempleo.

VISIR es un laboratorio remoto donde los estudiantes y profesores pueden realizar mediciones reales en circuitos reales, algo que no es posible en las simulaciones. VISIR interconecta varios componentes reales, que pueden ser conectados para realizar diferentes tareas y construir circuitos específicos diseñados por el usuario final.

Este sistema fue implementado por varias universidades (1): UNED, CUAS (Universidad de Ciencias Aplicadas de Carinthia, Villach, Austria) IPP (Instituto Politécnico de Oporto, Portugal) y DEUSTO (Universidad de Deusto, Bilbao, España), pero sus sistemas estaban limitados por las limitaciones inherentes de los circuitos reales: sus componentes y conexiones.

El partenariado de PILAR está compuesto por ocho participantes: las cinco universidades mencionadas antes, la

Asociación Internacional de Ingeniería Online (IAOE), Austria; EVM Project Management Experts, SL, Tenerife, España, (EVM), que co-liderará y coordinará diferentes actividades y OMNIA, (Autoridad Conjunta de Educación y Centro Regional, Espoo, Finlandia) una entidad educativa que co-liderará las actividades formativas.

El objetivo del partenariado de PILAR es crear una red de laboratorios VISIR, donde los socios puedan utilizar el sistema VISIR de otro socio, el cual puede tener otros componentes instalados y que pueden llevar a la instalación de más opciones y posibilidades para los usuarios finales.

II. ESTADO ACTUAL DE LOS SISTEMAS VISIR

Actualmente hay 10 nodos de VISIR, pero solo cinco de ellos están integrados en este proyecto. Cinco de los nodos son de las universidades participantes y socias del proyecto y mencionados arriba. Los cinco restantes están en Brasil, India, Georgia y otro nodo en Austria, los cuales no respondieron a la proposición de participar en este proyecto, socios también del proyecto Erasmus Plus VISIR+ (Educational Modules for Electric and Electronic Circuits Theory and Practice following an Enquiry-based Teaching and Learning Methodology supported by VISIR) un nodo más está siendo instalado en Brasil y otros dos en Argentina. También, habrá tres nodos más funcionando durante 2017 y otras instituciones han mostrado su interés en adquirir sistemas VISIR.

III. EL USO DE VISIR Y PARTENARIADO DEL PROYECTO

VISIR ha sido ampliamente utilizado en investigaciones académicas y en el día a día de clases teóricas y prácticas (2), (3), (4), (5), (6). VISIR ha demostrado ser una herramienta útil también para los MOOC (7), (8), (9), donde la educación a distancia puede ser complementada con laboratorios remotos con el fin de experimentar e interactuar con circuitos reales, en vez de con simulaciones.

UNED ha sido parte del consorcio de VISIR los últimos seis años. A lo largo de estos años, VISIR ha sido usado de manera rutinaria por cientos de estudiantes cada año. En este caso, debido a la naturaleza “a distancia” de la UNED, estos estudiantes han obtenido una ventaja particular de las prácticas con VISIR. VISIR también se ha utilizado dos veces para la parte práctica del primer MOOC completamente gratuito dedicado a aprender a construir circuitos eléctricos y electrónicos (3.000 estudiantes). La UNED es el coordinador

el proyecto completo, liderando la gestión y coordinación del mismo, sirviendo como proveedor de pruebas piloto para PILAR, liderando la evaluación y organizando uno de los eventos multiplicadores y una de las sesiones de capacitación.

BTH es la institución donde nació VISIR y es la institución que ha inspirado gran parte de los nuevos enfoques de VISIR. BTH coordinará todo el trabajo relacionado con el estado del arte y la integración de VISIR en la documentación oficial de PILAR. BTH también organizará uno de los eventos multiplicadores y también será un proveedor de pruebas piloto.

La Universidad de Deusto ha sido parte del consorcio de VISIR durante los últimos ocho años. Gracias al conocimiento adquirido a lo largo de estos años, la Universidad de Deusto ha colaborado de manera activa en la mejora de la plataforma VISIR desde dos puntos de vista: investigando para equilibrar la carga de usuarios entre diferentes instancias VISIR y mejorar el rendimiento del hardware. Más de 150 alumnos han estado utilizando la plataforma cada curso académico debido a su incorporación como herramienta de aprendizaje utilizada por profesores y alumnos. Además, Deusto ha ofrecido acceso a su plataforma VISIR a las escuelas de secundaria en el marco del proyecto Olarex (10), y también ha desplegado una instancia de la plataforma VISIR en la Universidad Estatal Shota Rustaveli (Georgia), en el marco del proyecto ICO-OP TEMPUS (11). La Universidad de DEUSTO liderará la implementación y el mantenimiento del Centro de Gestión del Proyecto, co-liderará y coordinará las acciones de difusión y coordinará las sesiones de capacitación con las escuelas secundarias, además de ser también proveedor de pruebas piloto.

IPP y CUAS también forman parte del consorcio de VISIR y sus implementaciones de VISIR se utilizan habitualmente como parte de las asignaturas en los diferentes cursos de los grados de ingeniería. IPP ya ha probado su sistema VISIR con más de 1.000 estudiantes accediendo a él, durante un único semestre. CUAS utilizó VISIR en el marco de diferentes proyectos europeos, con alrededor de 200 estudiantes de secundaria (OLAREZ y Go-Lab), 200 estudiantes y técnicos (iCoop y eScience). IPP dirigirá la coordinación de todos los informes del proyecto, dirigirá la creación de nuevos servicios a distancia VISIR, federados y equilibrados a través de los mecanismos establecidos por la federación PILAR y también coordinará uno de los eventos multiplicadores. CUAS coordinará todas las acciones relacionadas con las políticas de la federación y organizará uno de los eventos multiplicadores. Ambos socios servirán también como proveedores de pruebas piloto.

IAOE es una organización internacional sin ánimo de lucro cuyo objetivo es fomentar el desarrollo, distribución y aplicación de las tecnologías de Ingeniería Online (OE) y su influencia en la sociedad. Como puede verse en su página web (12), IAOE busca el fomento de las prácticas en educación e investigación en universidades, instituciones de educación superior y el sector de la educación de adultos. IAOE coordinará el análisis de todos los resultados, ayudará especialmente en la difusión a través de diferentes asociaciones y revistas relacionadas con la ingeniería remota y liderará la construcción de una alianza VISIR.

EVM tiene una amplia experiencia con diferentes proyectos de ERASMUS+, añadiendo competencias especializadas al conocimiento y experiencia de sus clientes y socios para optimizar los ingresos con la menor demanda de

recursos operativos de los mismos. EVM tiene una amplia experiencia en proveer servicios de formación y capacitación y consultoría a varios tipos de organizaciones, tanto públicas como privadas (Instituciones de Educación Superior, proveedores de formación y educación no formal, colegios, etc). EVM tiene una amplia experiencia en proyectos de la Unión Europea y co-liderará y coordinará las actividades de difusión junto con la Universidad de Deusto.

OMNIA es una entidad de educación multisectorial que ofrece educación y formación profesional de nivel superior, así como formación y capacitación para jóvenes y adultos, educación secundaria superior general, talleres de formación para jóvenes y cursos de educación no formal. Omnia ofrece flexibilidad para combinar actividades formativas y de ocio en importantes entidades y para estudiantes de todas las edades. Omnia desempeña un papel importante en el desarrollo de la educación y formación profesional a nivel regional, nacional e internacional a través de sus amplias redes de socios. OMNIA co-liderará y coordinará la introducción del uso de PILAR en las escuelas secundarias con UDEUSTO.

IV. OBJETIVOS Y CARACTERÍSTICAS DE PILAR

PILAR trata de responder a las diferentes necesidades de la comunidad STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), en particular la falta de prácticas online reales e intensivas, al permitir al estudiante interactuar con circuitos eléctricos y electrónicos en diferentes niveles de una forma económica y segura. Estas prácticas deberían ser ampliamente accesibles y basadas en un sistema robusto, que pueda sostener un elevado número de conexiones simultáneas y una alta carga de trabajo.

Por supuesto, todo esto debería estar disponible desde cualquier lugar y de manera oportuna y apropiada. En otras palabras, se aborda la necesidad de que las universidades o entidades educativas tengan la capacidad para atender al alto número de personas que necesitan interactuar con estos circuitos en condiciones y situaciones muy diferentes.

Hay varios objetivos y características que este proyecto quiere lograr. Estos son:

1. Creación de una federación de los laboratorios VISIR soportada en la web.

Los socios de la comunidad VISIR también serán miembros de esta nube, teniendo acceso libre a los laboratorios, pero también a un repositorio para compartir los recursos de aprendizaje. Esta red podrá ser accesible para los miembros desde cualquier lugar, siendo posible trabajar con cualquier sistema VISIR asociado a esta red federada.

Con la creación de esta red, los socios tendrán la capacidad de ofrecer un abanico de posibilidades de prácticas a alumnos y profesores mucho más amplio y variado, usando los recursos de una forma más eficiente. Esto, impulsará la innovación y colaboración entre nodos y estudiantes, y los centros serán capaces de manejar y controlar el proceso de aprendizaje de los estudiantes de manera mucho más sencilla.

2. La red VISIR ofrecerá laboratorios remotos a estudiantes y profesores.

Los estudiantes y profesores de escuelas y universidades serán capaces de conectar con estos laboratorios remotos gracias a la red VISIR. Estos

usuarios serán capaces de escoger un laboratorio o incluso una práctica concreta, y la red federada les proporcionará los recursos necesarios.

3. Un profesor podrá reservar, por un período concreto, cualquier laboratorio.

Los profesores podrán organizar y reservar cualquier laboratorio. Esto permitirá a los profesores organizar sus clases y prácticas. Al permitir esto a los profesores, la incertidumbre en los horarios será eliminada.

4. Las organizaciones sin VISIR también podrán participar.

Organizaciones y entidades sin el sistema VISIR podrán participar en la red también. Sin embargo, los proveedores deberán garantizar el acceso a la red, y a un laboratorio particular, tras una negociación entre ambas partes. Esto permitirá a otras entidades a participar sin afectar al trabajo de la red VISIR.

V. ACTIVIDADES DE PILAR

Las actividades del proyecto PILAR se organizan en IO - Intellectual Outputs (o productos intelectuales, en español). Cada IO tiene su propio socio responsable. Cada uno de los IOs incluye varias acciones que una vez completadas, cumplirá el objetivo del Intellectual Output.

- IO1: Alianza VISIR, liderado por IPP.

Este Producto Intelectual pretende conseguir la consolidación del grupo no formal de sistemas VISIR existente, dentro de la nueva Alianza VISIR, involucrando a los representantes de los socios al más alto nivel. La alianza será el núcleo del futuro entorno sostenible dentro del proyecto.

Las actividades previstas en este Producto Intelectual son:

- A1: Publicación en el sitio web de PILAR toda la información necesaria que incluya todos los datos administrativos y educativos de la Alianza, vinculando las distintas administraciones de los socios con los resultados del proyecto.
- A2: Debido a que los socios tienen diferentes estructuras de sus sistemas VISIR, se recopilarán y detallarán los cursos y experimentos de cada institución.
- IO2: Avances en el estado del arte de VISIR, liderado por UNED.

El objetivo es crear un documento en el que se exponga el estado del arte VISIR previo al proyecto PILAR y los diferentes avances que PILAR va a realizar.

Se realizará un análisis completo de VISIR y cómo PILAR innovará desde el punto de vista técnico y pedagógico. El documento describirá, a su vez los diferentes tipos de prácticas y niveles de capacitación adecuados y cómo conectar PILAR e implementar las prácticas.

Este producto intelectual, contempla dos tareas:

- A1: Análisis técnico y de utilización.
 - ✓ Descripción de los detalles técnicos (hardware y software) de cada nodo VISIR en la actualidad.

- ✓ Descripción de los diferentes experimentos disponibles en cada nodo
- ✓ Descripción del nivel de uso actual de VISIR por parte de los estudiantes, a nivel universitario y de bachillerato.

- A2: Catálogo de experimentos y prácticas, que incluirá:

- ✓ Catálogo detallado de las prácticas ofrecidas por los socios
- ✓ Propuestas para mejorar técnicamente los diferentes nodos VISIR de la federación,
- ✓ Inclusión de nuevos experimentos que complementen al catálogo inicial y,
- ✓ Nuevas prácticas más pedagógicas para los diferentes niveles educativos de los posibles alumnos.

- IO3: Políticas de la federación VISIR, liderado por CUAS.

El objetivo es crear un documento que contenga la política y procedimientos sobre cómo acceder a la federación VISIR, tanto como proveedor como usuario, consensuando los procedimientos con todos los socios.

Este producto intelectual, desarrollará las siguientes tareas:

- A1: Descripción de los detalles técnicos para conectarse a PILAR.
- A2: Definición de detalles y necesidades técnicas para los distintos niveles de acceso: usuario, profesor, administrador del nodo y administrador de federación.
- A3: Fijación de las diferentes actividades concurrentes permitidas en la federación.

- IO4: Resultados del piloto PILAR, que lidera IAoE.

El objetivo de este producto es producir un informe con los resultados del primer piloto de la federación PILAR.

El desarrollo de este IO, se desarrollará con las siguientes actividades:

- A1: Detalles técnicos de los niveles de comunicación, hardware y software de la federación.
- A2: Detalles didácticos de las prácticas electrónicas probadas y el número de experimentos.
- A3: Detalles del usuario sobre cómo conectarse a esta primera versión de la federación.

- IO5: Conjunto de prácticas en remoto abiertas de electrónica y electricidad VISIR, que lidera IPP.

El objetivo de este producto es desarrollar, al menos, 5 servicios diferentes que ofrecerán una serie de prácticas electrónicas, con alta disponibilidad, de diferentes socios.

Estos servicios serán accesibles a través de PILAR, reduciendo la complejidad de los diferentes niveles de comunicación relacionados con los 5 nodos VISIR de la federación.

Estos servicios estarán disponibles como servicio "cerrado", una vez identificados en la federación. Serán altamente fiables, ofreciendo las mismas capacidades casi en tiempo real que los servicios habituales de un nodo

VISIR. El acceso a los servicios será en abierto, sólo será necesario un navegador web y una conexión a Internet.

Para ello, se han identificado dos tareas clave:

- A1 Identificación de los servicios a desarrollar.
- A2 Implementación y desarrollo de los servicios.

- IO6: Conjunto de documentación técnica y metodológica PILAR, liderado por BTH.

El objetivo de este producto intelectual (IO) es desarrollar y establecer definiciones formales de procedimientos, metodologías de aprendizaje y formación y creación de documentación para definir con precisión cómo integrar todos los experimentos en una federación común.

Cada organización cooperará con su experiencia y resultados pasados para definir esta metodología común de desarrollo e integración.

Las acciones identificadas bajo este IO son las siguientes:

- A1: Documentación técnica, que muestre cómo integrar todos los anteriores experimentos disponibles en VISIR y los nuevos en una federación común. Esta documentación definirá los detalles de los procedimientos técnicos sobre cómo conectar, desde el punto de vista técnico, con la federación PILAR.
- A2: Documentación metodológica, donde se mostrarán los detalles de aprendizaje y capacitación a los que se puede acceder a través de PILAR. Cada experimento será descrito, mostrando sus componentes, sus complejidades y posibles complicaciones, así como el nivel de prerequisite necesario para su realización.

- IO7: Plan de evaluación y análisis de resultados de la evaluación, que lidera BTH.

El plan de evaluación incluirá un análisis completo, tanto desde el punto de vista técnico como pedagógico, de todos los resultados obtenidos, con el fin de evaluar la calidad de los resultados obtenidos a lo largo del proyecto.

Para el desarrollo de este IO se han planificado las siguientes actividades:

- A1: Desarrollo de un plan de evaluación, con indicadores de actuación tanto cualitativos como cuantitativos, ambos con metas técnicas y pedagógicas.
- A2: Evaluación de detalles técnicos de PILAR.
- A3: Informe global de evaluación.

- IO8: Disseminación, liderado por EVM y Universidad de DEUSTO.

Este IO tiene como objetivo la difusión del proyecto y sus resultados, así como garantizar el mayor impacto posible entre el público potencial y actores relevantes.

Para conseguir los objetivos de este IO, se contemplan dos actividades

- A1: Desarrollo e implementación de la web del proyecto.
- A2: Estrategia y Plan de disseminación.

VI. RESULTADOS ESPERADOS

Los resultados principales que deberán ser alcanzados tras la finalización del proyecto son:

- Un conjunto de prácticas VISIR remotas abiertas, disponibles en la Unión Europea a través de una federación de sistemas VISIR. Estas prácticas estarán disponibles en Internet y se registrarán por un conjunto de servicios establecidos y detallados mediante un Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA - Service Level Agreement). Los experimentos incluirán conceptos básicos y otros más complejos adaptados a diferentes niveles de prácticas.
- Un documento donde se explicarán todos y cada uno de los aspectos de la implementación técnica de la plataforma.
- Cinco eventos multiplicadores: estos eventos se asociarán a diferentes talleres y conferencias europeas. En estos eventos se difundirán los resultados y aprendizajes.
- Diferentes actividades de aprendizaje y enseñanza (al menos cuatro), donde se mostrarán las posibilidades de la red VISIR.

VII. CONCLUSIONES

VISIR ha demostrado su capacidad para dar a estudiantes y profesores la posibilidad de trabajar con circuitos reales desde cualquier lugar y en cualquier momento. Ha sido posible gracias al software y hardware implementado por algunas universidades, construyendo sistemas VISIR.

PILAR quiere federar todos estos sistemas VISIR para utilizar los recursos de una manera más eficaz y eficiente y hacer transparente al usuario final la elección de los recursos, repartidos por toda Europa. PILAR mejorará la experiencia donde estudiantes y profesores pueden interactuar con circuitos eléctricos y electrónicos reales. Estos experimentos remotos pueden complementar los MOOCs o la educación a distancia de forma muy positiva, y también pueden ser utilizados para instituciones o estudiantes que no tienen acceso a estos recursos.

En resumen, PILAR mejorará la eficiencia de los sistemas VISIR ya construidos y permitirá a los socios compartir con el resto de la comunidad académica sus aprendizajes y capacidades de sus respectivos sistemas VISIR y experiencias. Sin lugar a dudas, creará un hito en la educación ingeniera a distancia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen el apoyo del proyecto PILAR (Platform Integration of Laboratories based on the Architecture of visiR), Erasmus+ Strategic Partnership n° 2016-1-ES01-KA203-025327, así como el proyecto VISIR+ (Educational Modules for Electric and Electronic Circuits Theory and Practice following an Enquiry-based Teaching and Learning Methodology supported by VISIR) Erasmus+ Capacity Building in Higher Education 2015 n° 561735-.

Los autores reconocen el apoyo prestado por la Escuela Industrial de Ingeniería de la UNED, con el proyecto IEE2017 para Laboratorios Remotos dentro del Departamento de Ingeniería Eléctrica e Informática.

REFERENCIAS

- [1] Erasmus+ Project Results - European Commission [Online]. Source: <http://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/projects/eplu-project-details-page/?nodeRef=workspace://SpacesStore/2d88ecb1-3db1-4a29-93c1-dd2802ec4f6>. Accessed on February, 2017.
- [2] Gustavsson et al. Lab sessions in VISIR laboratories. 2016. DOI: 10.1109/REV.2016.7444499.
- [3] García-Loro, F., Macho, A., Sancristobal, E., Rodríguez Artacho, M., Díaz, G. and Castro, M. Remote Laboratories for Electronics and New Steps in Learning Process Integration. REV 2016 – 13th International Conference on Remote Engineering & Virtual Instrumentation, (Annual), pp. 106-111. Organizer: International Association of Online Engineering (IAOE), GOLC (Global Online Laboratory Consortium), Universidad Politécnica de Madrid (Madrid, Spain) y UNED (Madrid, Spain), ISBN: 978-1-4673-8245-8, 24-26 February, 2016, Madrid (Spain).
- [4] M. A. Marques, M. C. Viegas, M. C. Costa-Lobo, A. V. Fidalgo, G. R. Alves, J. S. Rocha, and I. Gustavsson, "How Remote Labs Impact on Course Outcomes: Various Practices Using VISIR," Education, IEEE Transactions on, vol. 57, no. 3, pp. 151-159, Aug. 2014.
- [5] R. Salah, G. R. Alves, D. Abdulazeez, P. Guerreiro, and I. Gustavsson, "Why VISIR? Proliferative Activities and Collaborative Work of VISIR System," 7th International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN) Proceedings, pp. 3824-3835, 2015
- [6] Natércia Lima, Clara Viegas, Gustavo Alves and Francisco J. García-Peñalvo; "VISIR's Usage as a Learning Resource: a Review of the Empirical Research", 4th Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'16), Salamanca, Spain, November 2-4, 2016. doi: 10.1145/3012430.3012623
- [7] García-Loro, F., Sancristobal, E., Gil, R., Díaz, G., Castro, M., Albert-Gómez, M. and Ribeiro-Alves, G. Electronics remote lab integration into a MOOC - Achieving practical competences into MOOCs. EADTU 2016. The Online, Open and Flexible Higher Education Conference, pp. 367-379. Organizer: Università Telematica Internazionale UNINETTUNO, ISBN: 978-90-79730-25-4, 19-21 October 2016, Rome (Italy).
- [8] García-Loro, F., Losada, P., Sancristobal, E., Díaz, G. and Castro, M. Re-design of a MOOC RLMS based in Moodle. 14th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology – "Engineering Innovations for Global Sustainability", LACCEI 2016 (Annual), pp. 1-9. Organizer: LACCEI (Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions). ISBN: 978-0-9822896-8-6, ISSN: 2414-6668, 20-22 July 2016, San José (Costa Rica).
- [9] García-Loro, F., Sancristobal, E., Díaz, G., Meier, R. and Castro, M. Practical competences in a MOOC through remote laboratories. Electronics remote lab integration into a MOOC. Learning with MOOCs III: Being and Learning in a Digital Age, LWMOOCs III 2016 October 2016 (Annual). Organizer: University of Pennsylvania. 6-7 October 2016, Philadelphia (United States).
- [10] Dziabenko, O., Alzola, O. and García, J. Remote Laboratory for Secondary School Physics Curriculum. International Conference, The Future of Education, PIXEL. [Online]. Source: http://conference.pixel-online.net/foe2013/common/download/Paper_pdf/278-ITL46-FP-Dziabenko-FOE2013.pdf. Accessed on February, 2017.
- [11] Ico-op [Online]. Source: <http://www.ico-op.eu/>. Accessed on February, 2017.
- [12] International Association of Online Engineering (IAOE) [Online]. Source: <http://online-engineering.org/>. Accessed on February, 2017.



Wlodek J. Kulesza (M'94) received the M.Sc. and the Ph.D. degrees in Automation and Measurement from Lodz University of Technology, Poland, and a Docent degree from Linköping University, Sweden. In 2001, he became Full Professor in Measurement Science and Technology at the University of Kalmar, Sweden. Since 2005 he has held a Professor position at the Department of Applied Signal Processing at Blekinge Institute of Technology, Sweden. For a couple of years he has been a Visiting Professor at Southeast University, Nanjing, Soochow University, Suzhou, both in China, and the University of Social Sciences, SAN, Lodz, Poland. His main research interests are multi-sensor systems and wireless sensor networks for industrial, healthcare and safety applications. He is also interested in scientific methodology, the subject that he lectures for graduate and postgraduate students. In 2009, Prof. Kulesza was honored with the Andy Chi Best Paper Award by IEEE Transaction in Measurement and Instrumentation. He is a co-author of several textbooks among others two editions of "Scientific Metrology" and "Measurement Data Handling" vol.1 Theoretical Technique, vol.2 Hardware Technique.



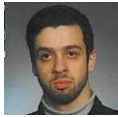
Ingvar Gustavsson (M'04) received the M.S.E.E. and Dr. Sc. degrees in electrical engineering from the Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden, in 1967 and 1974, respectively. After completing his military service in 1968, he worked as a Development Engineer with Jungner Instrument AB, Stockholm, Sweden. In 1970, he joined the computer vision project SYDAT with the Instrumentation Laboratory, KTH. In 1982, he was appointed the Head of the Instrumentation Laboratory. Together with another research scientist, he founded a private company providing automatic inspection systems for industrial customers in 1983. In 1994, he returned to the academic world to take up his current position as Associate Professor of electronics and measurement technology with the Blekinge Institute of Technology (BTH), Karlskrona, Sweden. In 1999, he started a remote lab project at BTH that today is known as VISIR (Virtual Instrument Systems in Reality).



Maria Arcelina Marques (M'14) was born in Aveiro, Portugal in 1965. She graduated in Physics from University of Porto - Portugal in 1988, received the MSc degree in Physics of Laser Communications from University of Essex - Colchester - England in 1992, and the PhD in Engineering Sciences from University of Porto - Portugal in 2008. She is with the Polytechnic of Porto - School of Engineering since 1995, lecturing physics, electronics and biomechanics courses. She has been involved in several R&D projects and is a member of the Physics Department Management Board. She is author and co-author of several conference and journal papers, 2 national patents (1 international pending) and a few book and book chapters, covering areas of Physics-Optoelectronics, Biomechanics and Remote Experimentation. Her current research interests include remote laboratories in engineering education and wearable devices, biometrics and telecare.



Gustavo R. Alves (M'14-SM'16) was born in Porto, Portugal, on April 11, 1968. He received the M.Sc. and Ph.D. degrees in electrical and computer engineering from the University of Porto, Portugal, in 1995 and 1999, respectively. He has been an Adjunct Professor with the Department of Electrical Engineering, School of Engineering, Polytechnic of Porto, since 1994. He is responsible for the Research Group in Systems Testing, part of the Center for Innovation in Engineering and Industrial Technology. He has published over 200 articles in journals and international conferences with peer review. He authored 11 book chapters, and co-edited a book in the area of remote labs in 2011. His areas of interest include teaching in engineering, remote experimentation, and electronic systems debug and test.



André V. Fidalgo was born in São João da Madeira, Portugal, on June 28, 1974. He received the M.Sc. and Ph.D. degrees in electrical and computer engineering from the University of Porto, Portugal, in 1999 and 2008, respectively. He has been an Adjunct Professor with the Department of Electrical Engineering, School of Engineering, Polytechnic of Porto, since 2002. He is a member of the Research Group in Systems Testing, part of the Center for Innovation in Engineering and Industrial Technology. Prof. Fidalgo has published over 100 articles in journals and international conferences with peer review, and authored 2 book chapters. His areas of interest include teaching in engineering, remote experimentation, and electronic systems debug and test.



Unai Hernandez-Jayo (M'13) was born in Barakaldo, Spain, in 1978. He received the M.S. and Ph.D. degrees in telecommunications engineering from the University of Deusto, Bilbao, Spain, in 2001 and 2012, respectively. In 2004, he joined the University of Deusto, where he is currently an Assistant Professor with the Telecommunications Department, teaching classes in electronic design and communications electronics. His current research interests include the use of information and communication technologies in the educational process and the application of information and communication technologies in cooperative vehicular systems.



Javier Garcia-Zubia (M'08–SM'11) received the Ph.D. degree in computer sciences from the University of Deusto, Bilbao, Spain, in 1996. He is a Full Professor with the Faculty of Engineering, University of Deusto. He is the Leader of the WebLab-Deusto Research Group, Bilbao. His current research interests include remote laboratory design, implementation, and evaluation. Dr. Garcia-Zubia is currently the President of the Spanish Chapter of the IEEE Education Society.



Christian Kreiter has an MSc degree in Systems Design and a BSc degree in Systems Engineering from the Carinthia University of Applied Sciences (CUAS), Villach, Austria, 2014 and 2010 respectively. He is working for over five years as junior researcher, lecturer and team member of the Center of Competence in Online Laboratories and Open Learning (CCOL) at CUAS, where he is engaged in projects in the area of Online Labs and eLearning. He is author or co-author of more than 15 scientific papers in the field of Online engineering and eLearning published in international conference proceedings.



Ramona Oros has a PhD in Engineering, a MSc in Economics and BSc degrees in Engineering and Economics from the Transilvania University of Brasov, Romania in 2011, 2010, 2008 and 2010 respectively. She is Project Acquisition Manager at the Graz office of ESEIA, the European Sustainable Energy Innovation Alliance, since summer 2017 after working for five years at Carinthia University of Applied Sciences as Project Assistant in international projects. Her expertise covers complementary fields, namely e-learning and development of online laboratories and remote technologies, internationalization and capacity building, online learning and renewable energies and mobility. During those years she was able to acquire a comprehensive experience in providing support to different European project frameworks like LLL, Tempus, Erasmus+ and FP7, H2020 programs, MSCA and EIT as well as national projects supported by Austrian Ministry of Education and Christian Doppler Research Association (CDG).



Andreas Pester received his degree as Diploma-Mathematician 1976 from Odessa State University, his PhD degree 1979 from Stet University Kiev. He habilitated 1984 at University of Technology in Dresden. Now he is with the Carinthia University of Applied Sciences since 1996. He has more than 20 years' experience in eLearning in higher education, in strategic planning for using eLearning in higher education and in platform evaluation, planning, developing, implementation and evaluation of curricula in higher education on undergraduate and graduate level (including international master programs), in teaching math and mathematical modelling simulation technologies, remote engineering, online labs. Guest Professor in the UPC Barcelona, UMaribor, UNESP Bauru (Brazil). Was involved in more than 11 EU- and national projects in eLearning and online Labs. He has more than 80 publications, was member of the program committee of different international conferences and was the editor-in-chief of the online-journal "Advanced cooperate learning". He is member of IEEE since 2003. He is head of the research group Online and Pocket Labs, his research interests are in the area of online labs and machine learning.



Danilo Garbi Zutin has graduated in electrical engineering at the State University of Sao Paulo (UNESP), Bauru, Sao Paulo, Brazil, and obtained his Master degree in Systems Design (specialization in Remote Systems) at the Carinthia University of Applied Sciences in Villach, Austria. His research interests are in the field of remote engineering, Online Laboratories, Internet of Things, distributed software architectures applied to Online Engineering. He has acted for ten years as a senior Researcher and team member of the Center of Competence in Online Laboratories and Open Learning (CCOL) at the Carinthia University of Applied Sciences (CUAS), Villach, Austria, where he has been engaged in projects for the development of online laboratories. Additionally, he is author or co-author of more than 30 scientific papers published in international journals, magazines and conferences. Most of these papers are in the field of online engineering, remote and virtual laboratories and issues associated with their dissemination and usage.



Prof. Dr. (mult) Michael E. Auer is Vice-Rector and Professor of Electrical Engineering at Carinthia University of Applied Sciences Villach and Professor for Microelectronics at University of Klagenfurt, Austria. Michael Auer is Founding-President and CEO of the "International Association of Online Engineering" (IAOE) since 2006, a non-governmental organization that promotes the vision of new engineering working environments worldwide. From 2010 - 2016 he served as President of the "International Society of Engineering Education" (IGIP). In 2015 he was elected as President (2016-2018) of the International Federation of Engineering Education Societies (IFEES).



Carla Garcia-Hernandez has a bachelor's degree in sociology and a master's degree in international business. She is currently managing projects related to innovation in the fields of education, social and employment. He is collaborating in the development of collaboration and cooperation projects between the business and education sectors. In 2016, Carla joined EVM as an international project manager.



Ricardo Tavio Gallo holds a Law degree from the University of Salamanca, Spain, an ICT Law Master from the Complutense University of Madrid (Graduated with Honours), Spain, and a Diploma in e-Business Management from the Complutense University of Madrid, Spain. He has developed his professional career in the field of business consulting and public funding, working for more than 7 years for the market leader in Spain, Econet, a member of the European leading group PNO Consultants, where he rose to hold the position of Team Leader and Key account Manager in the Information Society Area, with Microsoft, Hp, Telefónica, BBVA, IBM, Vodafone.... Since February 2009 he joined EVM as a partner with responsibilities in the Public Funding Programs Area, managing European Projects and in charge of the Business Development. He has taught at the Pontifical University of Comillas, ICADE (Advanced Course Management of Business Associations), at the University of La Laguna as visiting professor at the Faculties of Law and Economic and Business Studies, and the Spanish Association of Community Managers and Social Media Professionals -AERCO-, for which has been Territorial Representative in the province of Tenerife. He is a member of the Santa Cruz de Tenerife Bar Association and a member of the European Alliance for Innovation.



Marjo Savela graduated from upper secondary school in 1979, has a degree as Technician of hospital electronics since 1985 and a degree as Automation Engineer since 1991. She worked as design engineer from 1991 to 1997 and as service engineer 1997 to 2010 in T-Drill Oy, Laihia. She has been an Educator in vocational school for adults (VAKK, Vaasa) / electrics and automation from 2010 to 2013 and a Senior Lecturer in vocational school (Omnia, Espoo) / electrics and automation since 2013. Professor Savela had official posts in the municipal council and board between 2009 and 2013, and is Health and Safety representative in Omnia since 2015.



Felix García Loro has a M.Sc. degree in Electronics Engineering and a B.Sc. in Industrial Electronics and Control Engineering from the Spanish University for Distance Education (UNED), Madrid, Spain, 2014 and 2008 respectively. He is working as a lecturer and researcher at the Electrical, Electronics, Control and Telematics Engineering and Chemistry

Applied to Engineering Department (DIEECTQAI), UNED, since 2010. He is member of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) and the International Association of Online Engineering (IAOE).



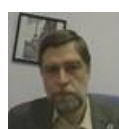
Alejandro Macho Aroca (S'12–M'15–GS'16) M.Sc. degree in Electrical, Electronics and Control Engineering from the Spanish University for Distance Education (UNED), Madrid, 2016, and B.Sc. in Industrial Electronics and Control Engineering from the University of Castilla – La Mancha (UCLM, 1:1), Albacete, 2014. He is a PhD. candidate at the

IEEC department from the UNED and is enrolled in the investigation group G-eLios and innovation group G-TAEI. He works in Deloitte since 2014 as a Senior Technology Consultant, focused in the Energy Sector, and collaborates with the innovation team. Furthermore, he is president of the National Association Qubic, an association for students, professors and educational institution who pursuit a great impact and innovation in education. He has been vice-president of the Foro Estados Unidos España from 2011 to 2016.



Elio San Cristobal Ruiz has a doctoral engineering degree from the ETSII (Industrial Engineering School) of the Spanish University for Distance Education (UNED), 2010. Also he has a Computer Science Engineering degree by the Salamanca Pontifical University (UPS), Madrid 2002 and he has a Technical Engineering degree in computer networks (UPS), Madrid 1998. He has worked for the University Distance

Education Institute (IUED) from UNED. and for the Computer Science Service Centre of the Spanish University for Distance Education (UNED). Nowadays he is working as assistant professor in the Electrical, Electronic and Control department from UNED



Gabriel Díaz (M'03–SM'07) received his Physics degree and Ph.D. degree in Physics from Universidad Autonoma de Madrid, Spain. He worked for 15 years for ICT companies as DEC (Digital Equipment Corporation) or Cisco, afterwards he joined UNED (Spanish University for Distance Education). He works as researcher in different projects, covering topics from

system applications of simulation techniques, information security, telematics and distance learning applications and systems. His present position in UNED is Associate Professor in Telematics Engineering for the Electrical and Computer Engineering Department. He is also the director of Research Master in Electrical, Electronics and industrial control engineering. He is Past-Chairman of the Spanish Chapter of the IEEE Education Society, He got the 2017 IEEE Chapter Leader Achievement inside the Spanish Chapter of the IEEE Education Society and the 2011 Best Chapter Award (by the IEEE Region 8) as well as with the 2007 Chapter Achievement Award (by the IEEE Education Society).



Manuel Castro (M'87–SM'94–F'08), Electrical and Computer Engineering Professor in the Spanish University for Distance Education (UNED) has a doctoral industrial engineering degree from the ETSII/UPM, is expert in Applications of Simulation and Electronics in Remote Engineering and in Technology Enhanced Learning. Has been ViceRector and is Director of the Department at the UNED. He co-chaired the conference FIE

2014 (Frontiers in Education Conference) in Madrid, Spain, by the IEEE and the ASEE as well as TAAE 2010, EDUCON 2010, REV 2016, EDUNINE 2017 and in 2018 of the EDUCON 2018 and LWMOOCs V. He is Fellow member of IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), President Emeritus of the IEEE Education Society and is Director-Elect of the IEEE Division VI. He has been awarded with the Meritorious Service Award at the IEEE EDUCON 2011 and IEEE EDUNINE 2017, the IEEE Education Society Awards: Distinguished Chapter Leadership, Edwin C. Jones, Jr. Meritorious Service and Distinguished Member, as well as the TAAE Professional Life Award, the IEEE Spanish Section Recognition Award and the Nicola Tesla Chain of the IGIP International Society. Is Honour Ambassador of Madrid Convention Bureau, co-editor of IEEE-RITA and member of the Board of the Spanish International Solar Energy Society (ISES)

Página en Blanco

Capítulo 6

Lego: un Marco para el Aprendizaje en el Itinerario de Tecnologías de la Información

Óscar Cánovas Reverte, Gabriel López Millán, Gregorio Martínez Pérez

Title— Lego: a Learning Framework for the Information Technology Itinerary.

Abstract— In this paper a learning experience called “Lego” is presented. It has been developed for the Information Technology (IT) specialization inside the Computer Science Engineer Degree. The main objective of the experience is the definition of a coordinated strategy of learning activities for students that will be accomplished in different subjects. The cornerstone element of this coordination is a network topology with multiple elements, which is representative of real network environments. It can be adapted and extended taking into account the learning outcomes of the different subjects since it has been designed to be modular, and also to take into account the progression of the different students. In this work we introduce the main features, advantages and difficulties of this kind of initiatives in the IT context. We also outline some quantitative and qualitative results obtained in the last two years.

Keywords— Coordination, Transversal, Information Technologies, Teaching Experience

Resumen— Se presenta aquí un marco de aprendizaje, denominado “Lego”, aplicado en el itinerario de Tecnologías de la Información del Grado en Ingeniería Informática. Dicho marco tiene como objetivo diseñar una estrategia coordinada de actividades de aprendizaje para los estudiantes que se llevarán a cabo en diversas asignaturas del itinerario. El elemento que vertebra dicha coordinación es un escenario base (una configuración de red realista con múltiples elementos) que puede ser adaptado a las necesidades de las diversas asignaturas. Una de las cualidades de dicho marco es la modularidad, lo cual permite extender la iniciativa a potenciales asignaturas interesadas, así como a las diversas situaciones académicas de los estudiantes, que no tienen que cursar el mismo conjunto de asignaturas para formar parte del proceso de aprendizaje. En el trabajo se exponen las características, ventajas y dificultades de este tipo de

iniciativas de coordinación en el contexto del itinerario en Tecnologías de la Información. Se presentarán resultados tanto cuantitativos como cualitativos de los dos años en los cuales se ha desarrollado la experiencia.

Palabras clave— Coordinación, Transversalidad, Tecnologías de la Información, Experiencia docente

I. INTRODUCCIÓN

EL contexto laboral y cultural actual está cada vez más marcado por el carácter multidisciplinar, por la integración de conceptos y procedimientos que provienen de múltiples ámbitos. Sin embargo, contrasta con ello la escasa coordinación en los estudios universitarios para que los alumnos integren explícitamente los conocimientos que van aprendiendo a lo largo de su formación. Esta integración es especialmente deseable y necesaria en los últimos cursos de los títulos de grado, por ser la antesala del mundo laboral y por el nivel de afinidad de las asignaturas que se imparten.

Si se realiza un análisis general, hay diversas razones que dificultan este tipo de iniciativas coordinadas en las titulaciones universitarias. En primer lugar, los diseños de muchos planes de estudios se han llevado a cabo en base a compartimentos estancos (asignaturas y materias) a partir de los cuales se articula el conjunto de la titulación. Ese planteamiento atomizado dificulta la integración de actividades que traspasen las barreras de las asignaturas. En segundo lugar, hay que tener en consideración la diversidad de puntos de vista existentes a la hora de plantear las estrategias de aprendizaje, los sistemas de evaluación, etc. Si bien existen ciertas líneas generales de lo que son buenos principios pedagógicos [2, 6], al final siempre existen diferencias metodológicas que plantean un reto a la hora de acordar sistemas más coordinados, puesto que en muchas ocasiones pueden suponer una renuncia o un cambio en los esquemas habituales de trabajo para el profesorado. En tercer lugar, se podría hablar también de impedimentos derivados de cuestiones administrativas (horarios, calendarios, plan de ordenación docente) o de la progresión de los estudiantes. En

Este trabajo fue presentado originalmente a las XXIII Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2017) celebradas en Cáceres del 5 al 7 de julio de 2017.

Óscar Cánovas Reverte es profesor del Departamento de Ingeniería y Tecnología de Computadores de la Universidad de Murcia. Email: ocanovas@um.es

Gabriel López Millán y Gregorio Martínez Pérez son profesores del Departamento de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones de la Universidad de Murcia. Emails: gabilm@um.es, gregorio@um.es

las titulaciones de Informática, la mayoría de los estudiantes están matriculados de asignaturas de diversos cursos y ello impide asumir que todos ellos podrán cursar, simultáneamente o en el orden conveniente, las asignaturas que formen parte de una iniciativa coordinada. En último lugar, no se debe descartar la propia reticencia de una parte del alumnado [3] a llevar a cabo su aprendizaje en marcos más amplios y complejos, puesto que ellos también están acostumbrados al sistema tradicional atomizado.

A pesar de estos desafíos, los autores consideran que las ventajas derivadas de iniciativas coordinadas, por la riqueza de la experiencia de aprendizaje resultante y la visión integradora que conlleva, podrían contrarrestar dichas dificultades. Si bien existen ya varias iniciativas coordinadas en el área de la Ingeniería del Software [5], o de la Programación de Videojuegos [7], no es habitual que se realicen en el ámbito de las Tecnologías de la Información, más comúnmente denominado como *Redes*. Quizá sea porque, a diferencia de las otras, aquí la programación (donde la integración y la modularidad son más inherentes) no constituye el núcleo central del itinerario, sino que lo son la configuración, despliegue y desarrollo de servicios de red.

El marco propuesto en este artículo, denominado Lego, tiene como eje transversal la definición de un escenario diseñado de forma modular que, desde la perspectiva del alumno, crecerá y se irá integrando a través de varias asignaturas; de ahí el nombre con el que fue bautizado. En esencia es una topología de red y una distribución de servicios telemáticos lo suficientemente rica y representativa como para vertebrar gran cantidad de actividades de aprendizaje de las asignaturas, principalmente en su aspecto práctico. Como se verá, en nuestro caso se usan varios de los principios del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) [8] para organizar y planificar el trabajo a desarrollar por los estudiantes, los cuales trabajarán en equipo, con el fin de desarrollar tanto competencias cognitivas como interpersonales. Como se expone, a tenor de los resultados obtenidos y de las valoraciones de los estudiantes, la iniciativa está resultando

un éxito en cuanto al cumplimiento de expectativas y objetivos.

II. MOTIVACIÓN Y CONTEXTO

La iniciativa Lego surge como consecuencia de un proceso de análisis tanto externo como interno. Por un lado, durante las reuniones periódicas de coordinación se había estado trabajando mucho en la coordinación de las asignaturas desde el punto de vista del diseño de prácticas complementarias, evitar solapamiento de contenidos, etc. Por otro lado, se han estado siguiendo con interés durante los últimos años las distintas iniciativas que en otras universidades se han realizado en materia de coordinación de múltiples asignaturas.

La experiencia empieza a tomar forma en su definición durante el curso 2014/15 como un modo de poner decididamente el foco en un marco común integrado por varias asignaturas. Dicho marco asigna prioridad al diseño de actividades de aprendizaje que pudieran construir un proyecto de prácticas de mayor envergadura que el realizado hasta el momento de forma individual. Tras unas primeras reuniones para lanzar la iniciativa, una parte del profesorado del itinerario decide diseñar una propuesta que pueda servir como prototipo en el cual probar las ideas, y que esté preparada para ir incorporando progresivamente más asignaturas.

El marco Lego se plantea dentro del itinerario de Tecnologías de la Información del Grado en Ingeniería Informática en la Facultad de Informática de la Universidad de Murcia. Dicho itinerario, ubicado en el cuarto curso de la titulación, engloba a las asignaturas que, en palabras del propio título, *capacitan para seleccionar, diseñar, desplegar, integrar y gestionar redes e infraestructuras de comunicaciones en una organización*.

El estudiante debe cursar 48 créditos ECTS a partir del conjunto de asignaturas que aparecen en la Fig. 1, de las cuales algunas son obligatorias y otras optativas, todas de 6 créditos ECTS. Se pueden ver también los principales tópicos abarcados por cada asignatura.

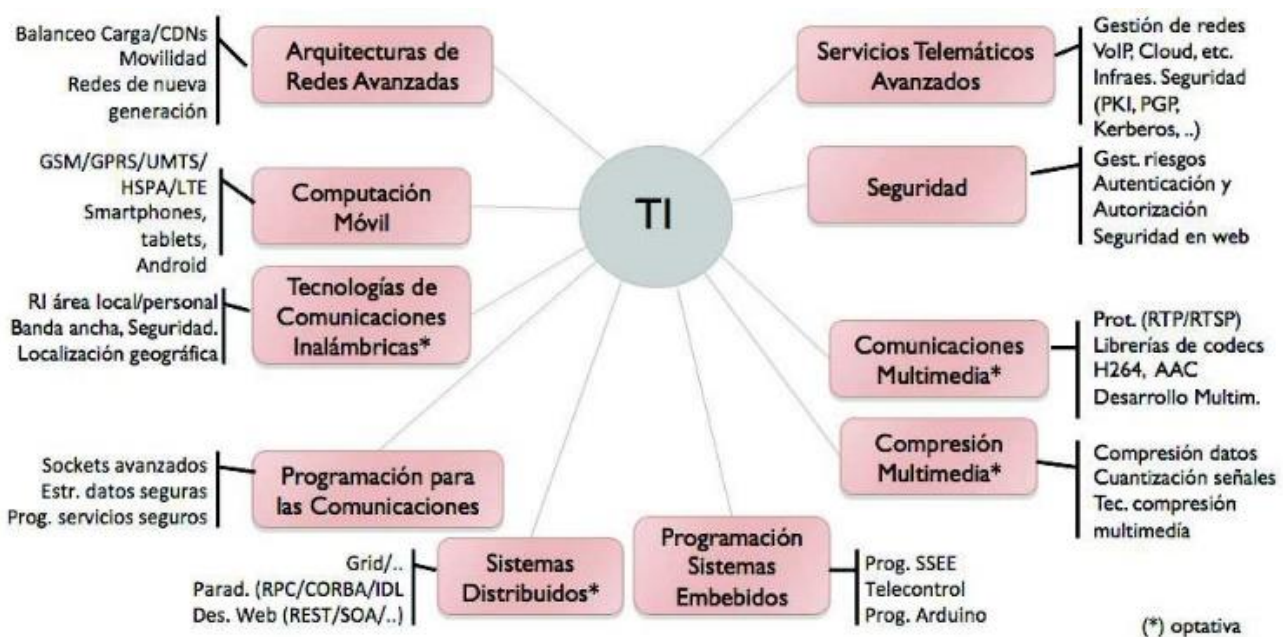


Fig 1. Itinerario de Tecnologías de la Información.

Las asignaturas que han participado hasta ahora en Lego han sido las de Servicios Telemáticos Avanzados (STA), Tecnologías de Comunicaciones Inalámbricas (TCI), ambas de primer cuatrimestre, y Seguridad (de segundo cuatrimestre). Los cursos durante los cuales se ha aplicado Lego han sido 15/16 y 16/17, durante los cuales el profesorado de las asignaturas se ha mantenido estable, con 3 profesores involucrados en total.

El perfil común de dichas asignaturas es que muchos de los resultados esperados versan sobre la capacidad para administrar y configurar equipos y servicios de red, tanto desde el punto de vista de la conectividad, como de los servicios proporcionados, o la seguridad de los sistemas. En esta primera fase de Lego se persigue que, al integrar las actividades de las distintas asignaturas, el aprendizaje sea más rico por estar basado en múltiples aspectos que están interconectados y que se refuerzan por su integración. A continuación se describen algunos resultados esperados.

III. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Es conveniente, aunque sea a grandes rasgos, comentar los resultados de aprendizaje esperados a partir del desarrollo de esta experiencia, lo que ayudará a comprender las actividades de aprendizaje que se han diseñado para ello [4]. Haremos uso de la clasificación en tres dominios a la que hace referencia Pellegrino et al. [10]: cognitivo, intrapersonal e interpersonal.

El dominio cognitivo es el que tradicionalmente acapara casi toda la atención. Hace referencia a aquellas competencias relacionadas con el razonamiento, resolución de problemas o la memoria. En nuestro caso, los estudiantes tendrán que hacer uso de los distintos conocimientos técnicos adquiridos en las distintas asignaturas para ir configurando y desplegando el escenario de red planteado. Por tanto, esto requerirá acceder a información teórico/práctica de cada tecnología involucrada, el análisis de aplicaciones y herramientas existentes, la realización de pruebas y su documentación. Un aspecto a resaltar sobre el resto será la capacidad para abordar problemas complejos y para plantear soluciones que podrán ser desplegadas en entornos reales, lo cual pretendemos que sirva también para afianzar los conceptos teóricos vistos en las asignaturas.

Sin embargo, hay otros dominios del aprendizaje que requieren especial atención por ser igualmente importantes para los estudiantes. Por ejemplo, en el dominio intrapersonal, es conveniente que los estudiantes tengan la capacidad de controlar de forma efectiva su proceso de aprendizaje. Eso implicará que deban conocer con anterioridad las fases de la experiencia Lego con el fin de que puedan adaptar su tiempo y dedicación a los requisitos de cada etapa. También deben conocer las condiciones en las cuales se va a desarrollar, por ejemplo, el requisito del trabajo en equipo, para que puedan definir cuál es su papel en el proceso.

Por último, con el fin de lograr resultados en el dominio interpersonal, los estudiantes trabajarán en equipos (de 2 personas principalmente). Esto implicará el diseño de actividades, y su seguimiento, relacionadas con la comunicación efectiva, colaboración, resolución de conflictos e interdependencia.

IV. METODOLOGÍA UTILIZADA

El desarrollo de la experiencia Lego involucra varios aspectos metodológicos:

- Difusión de la iniciativa en los cursos previos.
- Coordinación académica y dedicación del profesorado.
- Planificación temporal de la experiencia.
- Elementos pedagógicos para el aprendizaje.
- Seguimiento del aprendizaje.
- Sistema de evaluación del aprendizaje.
- Circunstancias diversas de matriculación.

El primer aspecto clave de Lego es la *fase de difusión y de comunicación* realizada principalmente en tercer curso. Es fundamental que los estudiantes conozcan la iniciativa para incentivar que, llegado el momento, se matriculen en todas las asignaturas implicadas en el mismo año académico, dado que es lo idóneo. Además, esta etapa de difusión también ayuda a dar una visión más integradora y clara de cuál es el propósito del itinerario de Tecnologías de la Información.

En segundo lugar, se han definido los calendarios y los procedimientos de *coordinación del profesorado*. Hay una primera fase, antes del comienzo de cada curso académico, en la que se presentan al resto del profesorado que no participa en Lego las principales conclusiones obtenidas de la experiencia y se indaga acerca de su posible interés en sumarse a la misma. Una vez en marcha la iniciativa, los profesores participantes fijan la planificación temporal, definen el sistema común de evaluación, acuerdan aspectos pedagógicos y el sistema de seguimiento. Durante el desarrollo del curso se producen reuniones de seguimiento tanto con los equipos de trabajo que forman los estudiantes como entre los profesores (dos reuniones por cuatrimestre) y se llevan a cabo las pruebas de evaluación. Finalmente se analizan los resultados obtenidos y se valoran las encuestas de los estudiantes acerca de la experiencia. La dedicación del profesorado que participa en Lego es ligeramente superior, una media de 10 horas superior, a la que sería necesaria con un enfoque tradicional, principalmente debido a la coordinación y al diseño de actividades. No obstante, dicho incremento en la dedicación sólo es sustancial el primer año, o con la incorporación de nuevas asignaturas.

Al principio del curso se establece para el conjunto de Lego una *planificación semanal* que abarca tanto las actividades a realizar en el laboratorio como las pruebas de evaluación. Cada asignatura cuatrimestral toma esta planificación como base para adaptar los contenidos y actividades específicas de la misma, respetando los hitos comunes a todo Lego. Dicha planificación tiene elementos propios del Aprendizaje Basado en Proyectos, ya que los distintos equipos deben acordar un diseño del escenario a resolver que diferirá muy probablemente entre los distintos equipos. Además hay periodos en los que los estudiantes tienen autonomía para planificar su desarrollo. Sin embargo, el marco general en el que se desarrolla está fijado por el profesorado, mediante una serie concreta de laboratorios específicos.

Con el fin de que cada asignatura pueda diseñar las actividades de aprendizaje que sean más convenientes para sus objetivos, no se impone ninguna *pedagogía* concreta para cada asignatura. Por ejemplo, en TCI muchos de los

conceptos se desarrollan mediante clases invertidas [9] mientras que en otras se sigue un modelo más tradicional. Sin embargo, sí hay ciertos principios [6] que todas las asignaturas aplican, como la realimentación inmediata (mediante la supervisión en el laboratorio) o el trabajo en grupo.

También están programadas *reuniones de seguimiento* de todo el profesorado con los estudiantes, al menos una por cuatrimestre, para recabar información sobre posibles incidencias, carga de trabajo, y para resolver cuestiones técnicas.

En relación con la *evaluación del aprendizaje*, hay definidas dos evaluaciones, una parcial, con más fin de evaluación formativa que sumativa, y una evaluación final. Ambas evaluaciones se realizan conjuntamente por el profesorado, es decir, son pruebas únicas que abarcan aspectos de las distintas materias involucradas. Se han definido rúbricas que aclaran qué aspectos se van a valorar y en qué medida. Las evaluaciones se materializan en entrevistas personales con cada grupo durante las cuales los estudiantes exponen el diseño y despliegue realizado, y posteriormente se llevan a cabo pruebas específicas de verificación.

Por último, es conveniente mencionar cómo se abordan aquellos casos en los que los estudiantes no están matriculados de todas las asignaturas de Lego en un mismo curso académico. Si bien, como se verá más adelante, el número de casos va en descenso, aún se producen estas situaciones. Todos los alumnos aprenden a través del marco de Lego, aunque sea cursando menos asignaturas. La solución adoptada depende de la combinación específica de asignaturas que se da en cada caso, pero normalmente se recurre bien a eliminar aquellas actividades relacionadas con las asignaturas que no se cursan, o bien a proporcionarles a los estudiantes una solución estándar (caja negra) con la cual pueden progresar igual que los estudiantes que sí han elaborado la solución por su cuenta. De hecho, este aspecto es clave para que la iniciativa pueda ser modular y se adapte a un número variable de asignaturas e incorporaciones futuras. A continuación se ve de qué manera concreta se articula este escenario modular.

V. ESCENARIO TÉCNICO

El aspecto unificador de las asignaturas que conforman Lego es el escenario o topología de red sobre la cual deben configurar, desplegar y analizar los distintos servicios y protocolos vistos en éstas. Se ofrece a los estudiantes un escenario físico que les permite realizar las prácticas de un modo lo más parecido posible a un escenario real, desplegando cada grupo de prácticas un escenario compuesto por, al menos, dos dominios distintos conectados entre sí a través de la red. Sobre este escenario los grupos deberán desarrollar todos los aspectos prácticos de las tres asignaturas. Pongamos un ejemplo representativo de una parte de las prácticas.

Por un lado, en TCI los estudiantes deben instalar y configurar puntos de acceso WiFi para dar servicio de red a los usuarios de cada organización a través de sus terminales móviles. Además, se debe desplegar un servicio de *roaming* de modo que un usuario perteneciente a uno de los dominios

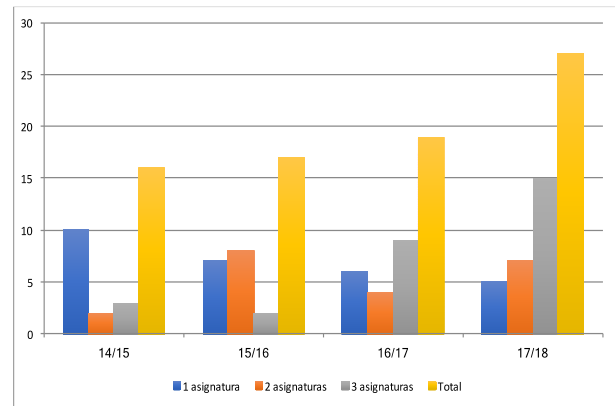


Fig. 3. Número de estudiantes por asignaturas.

puede acceder a la red desde el otro dominio. Por otro lado, en STA, los estudiantes deben implantar un servicio de VoIP multidominio, desplegando centralitas de voz y permitiendo el establecimiento de llamadas de voz entre ambos dominios. Como parte de la integración en Lego, en este ejemplo concreto, los estudiantes deben realizar llamadas de voz (STA) interdominio a través de sus terminales móviles conectados a la red WiFi desplegada (TCI). Una vez desplegado el servicio, los estudiantes tienen que aplicar medidas de seguridad para proteger el tráfico entre organizaciones, configuración de firewalls (STA), despliegue de un sistema de detección de intrusiones o una auditoría sobre el estado de la red (Seguridad).

Para ofrecer a cada grupo una topología independiente capaz de permitir este tipo de escenarios se proponen dos soluciones: la primera es ofrecer a los estudiantes una topología física lo más cercana posible a la ideal; la segunda es un entorno totalmente virtualizado.

En el primer caso la topología que se diseña para cada grupo puede verse en la Fig. 2. Cada grupo (Grupo N) administrará dos organizaciones (Organización N1 y N2), cada una compuesta por un equipo físico (PC) que actuará de servidor (Server-N1 y Server-N2 respectivamente), un Punto de Acceso WiFi para su despliegue y un direccionamiento de red distinto (mediante el uso de VLANs). Finalmente, para conectar las organizaciones entre sí, y ofrecer conectividad al

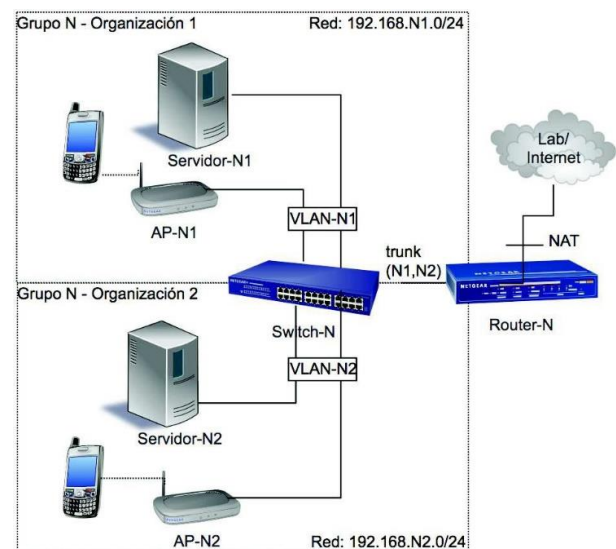


Fig. 2. Topología de red física para Lego.

exterior, cada grupo hará uso de otro PC del laboratorio que hará las funciones de router (Router-N).

No es competencia de las asignaturas de esta intensificación el saber poner en marcha esta topología, dado que se estudia en cursos anteriores. Sin embargo, la primera sesión de prácticas de cada cuatrimestre se dedica a ayudar a los estudiantes en su despliegue. Se ha observado que los estudiantes agradecen este repaso de conceptos y la puesta en marcha de los mismos en un entorno real que usarán durante todo el curso.

Para facilitar a los estudiantes el trabajo de prácticas y no depender de la presencia física en el laboratorio, se proporciona también un entorno totalmente virtualizado. El escenario consiste en el uso de VMs que juegan el rol de Servidor-N1 y Servidor-N2, y la configuración necesaria para que, a través de la herramienta VirtualBox, puedan lanzar y comunicar estas VMs. Este entorno no puede ofrecer la funcionalidad completa (por ejemplo, el despliegue de los Puntos de Acceso se dificulta), pero ayuda a los grupos en la configuración de los servicios, que luego deben desplegar para la evaluación sobre la topología física. También es interesante destacar que los grupos pueden extender esta topología añadiendo más redes y servidores, tanto de modo físico como virtual.

El uso de este escenario ofrece dos ventajas fundamentales a Lego. En primer lugar es lo suficientemente flexible como para poder ser usado por grupos que pertenezcan a una, dos o las tres asignaturas. Supongamos, por ejemplo, que los estudiantes de un grupo están matriculados de STA, pero no de TCI. En este caso la configuración del servicio de acceso a la red WiFi se le da previamente configurado por los profesores (caja negra), mientras que los grupos que pertenecen a las dos asignaturas deben hacerlo por sí mismos. Supongamos también que los estudiantes de un grupo están solo matriculados de Seguridad. En este caso los estudiantes despliegan sus propios servicios de seguridad y aplicaciones vulnerables sobre la misma topología.

La segunda ventaja es que permite a los grupos plantear diferentes alternativas de diseño para su solución. Este diseño puede basarse en dos organizaciones totalmente independientes que establecen algún tipo de acuerdo de colaboración, en diferentes sedes de una misma organización, o incluso añadir nuevos dominios que permitan extender el escenario de partida.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con el fin de comprobar si la experiencia ha tenido una incidencia positiva en el aprendizaje de los estudiantes, en esta sección se analizan varios aspectos.

En primer lugar se considera la evolución del número de estudiantes matriculados en las asignaturas que participan en Lego. La evolución de este comportamiento puede verse en la Fig. 3. En cursos anteriores la tendencia no era homogénea entre asignaturas. Una conclusión que se puede obtener de estos datos es que antes de Lego los estudiantes no tenían una visión global de la intensificación, y seleccionaban las asignaturas a matricular en función de aspectos como su planificación personal, carga de asignaturas de otros cursos, etc. Tras la primera aplicación de Lego en el curso 15/16, las tres asignaturas han venido incrementando el número de

matriculados durante los cursos siguientes, llegando en el curso actual hasta una cifra considerablemente superior a las anteriores.

Sin embargo, uno de los objetivos de Lego no es tanto que el número de matriculados por asignatura se incremente, circunstancia que quizá es sobrevenida, como el hecho de que el diseño conjunto de las actividades ayude a que el aprendizaje sea percibido como conjunto y coordinado. En el curso 15/16, cuando se implanta Lego, los estudiantes aún no son conscientes de las ventajas de éste. Durante el curso 16/17, una vez conocidas entre los estudiantes las bondades de Lego, la situación mejora respecto al número de estudiantes que se matriculan de las tres asignaturas, pasando a alcanzar casi el 50 %. En el curso 2017/18 dicha cifra llega al 55 %.

En segundo lugar, es importante saber si la implantación de Lego tiene algún efecto sobre las calificaciones de los estudiantes en las asignaturas y, por tanto, en una mejora de su aprendizaje. Hay que tener en cuenta que, aunque hay elementos de evaluación que son comunes, cada asignatura asigna una nota independiente a los estudiantes y no hay una nota global que involucre a las tres. Antes de la implantación de Lego la nota media era muy dispar entre las asignaturas y sin una tendencia definida. Mientras que en STA y Seguridad la nota media estaba próxima al 6, en TCI la nota media era de más de 8. Es a partir del curso 15/16, con la incorporación de Lego, cuando se ve una clara tendencia positiva en las tres asignaturas: STA (8,32 en 16/17), TCI (9,5 en 16/17) y Seguridad (7,74 en 16/17). Desde el punto de vista de los resultados de aprendizaje esperados en el dominio cognitivo, comentados en la Sección 3, el profesorado ha apreciado una mejora significativa en las destrezas relacionadas con las habilidades técnicas para la resolución de problemas, lo cual se ha traducido en calificaciones más altas.

Finalmente, se analizan los resultados obtenidos a partir de las encuestas de satisfacción rellenadas por los estudiantes al final de cada cuatrimestre durante los cursos en los que se ha impartido Lego. El conjunto de cuestiones puede dividirse en dos bloques. En primer lugar, aquellas cuestiones que pueden valorarse de modo cualitativo usando la siguiente escala de valores: 0=*en blanco*, 1=*Nada de acuerdo*, 2=*Poco de acuerdo*, 3=*De acuerdo*, 4=*Bastante de acuerdo* y 5=*Enormemente de acuerdo*. Las cuestiones que siguen esta escala pueden verse en la Tabla I.

TABLA I
ENCUESTA DE SATISFACCIÓN, PREGUNTAS CUANTITATIVAS

Ítem	Pregunta
1	Nivel de satisfacción con resultado del proyecto
2	Valoración del trabajo sobre la topología física
3	El proyecto ayuda a afianzar los conceptos teóricos de las distintas asignaturas
4	Valora el funcionamiento general de tu grupo de trabajo
5	El enfoque basado en Lego ha sido más adecuado que un enfoque más clásico
6	Te gustaría que la metodología basada en proyectos se utilizara en otras asignaturas de la titulación
7	Frecuencia y la calidad con la que el profesorado ha supervisado el desarrollo del proyecto
8	Valora el grado de comunicación entre el profesorado y el alumnado
9	Las competencias adquiridas en esta asignatura te han parecido necesarias para tu perfil profesional
10	La carga de trabajo de las prácticas se adecua a la carga de trabajo estimado para las asignaturas

La gráfica superior de la Figura 4 muestra los resultados acumulados (para las tres asignaturas) de esta encuesta durante el curso 15/16. En este gráfico se observa que las respuestas con valores entre 3 y 5 (representadas en tonos fríos), es decir, aquellas en los que el estudiante está de algún modo de acuerdo con la metodología empleada, representan la mayoría de las respuestas, en concreto un 87,27 % (144/165). Más aún, un 42,42 % (79/165) del total de las respuestas representa un *Bastante de acuerdo* por parte del estudiante. De esta figura se puede concluir, en general, que Lego fue bien recibido por los estudiantes en su primer año. La capacidad de trabajo en equipo, uno de los resultados de aprendizaje del dominio interpersonal que se esperaban, fue lograda y bien valorada mayoritariamente. En el plano cognitivo, el uso de una topología física en el laboratorio ayudó a mejorar y entender las actividades de aprendizaje. También hay que destacar que los estudiantes ya solicitaban la incorporación de más asignaturas a Lego. Sin embargo, era necesario mejorar el grado de comunicación entre el profesorado y los estudiantes, así como hacer un mejor ajuste de la carga de la parte práctica de las asignaturas.

En la gráfica inferior de la Figura 4 se pueden observar los resultados la misma encuesta para el curso 16/17. Los valores positivos han ganado terreno en la distribución de porcentajes. Se puede destacar que del total de repuestas, casi un 50 % de estas corresponden a un valor 5 (*Enormemente de acuerdo*).

Tras el segundo año de aplicación de Lego los estudiantes han valorado mucho mejor la percepción sobre las competencias adquiridas en las asignaturas, así como ha mejorado considerablemente la valoración de la comunicación entre estudiantes y profesores, el uso de la topología física, y la relación entre contenidos teóricos y prácticos. También crece el interés por aplicar esta metodología al resto de asignaturas de la intensificación. Sin

embargo, se puede ver también como la carga de trabajo en las prácticas sigue considerándose elevada y el alumnado espera todavía una mejor supervisión del trabajo por parte del profesorado.

La encuesta de satisfacción también incluye preguntas cualitativas más específicas. Estas preguntas, así como un resumen de los puntos fuertes y débiles que se pueden obtener de éstas pueden verse en la Tabla II (resultados acumulados durante los cursos 15/16 y 16/17).

De estos resultados se puede concluir que el *Diseño del sistema* y *Realizar la documentación* son los aspectos más complejos según los estudiantes, mientras un aspecto clave para Lego como la *Integración de contenidos* de distintas asignaturas no ha sido visto como un problema. También se puede concluir que los estudiantes no están satisfechos con su *Cumplimiento de los plazos* marcados internamente dentro de cada grupo, mientras que el *Ambiente de trabajo*, la *Comunicación entre miembros*, la *Resolución de conflictos* o la *Calidad del resultado final* han sido bien valoradas. Podría considerarse por tanto que se trata principalmente de un problema de gestión del tiempo y posiblemente esté ligado a su percepción de una carga elevada de trabajo. Finalmente se aprecia que la mayoría de los estudiantes (en concreto 17/30) considera *Apropiada* su contribución al grupo, mientras que 10/30 indican *Algo más de lo que considera justo*, lo cual indica que estos estudiantes tienen la sensación de haber contribuido más al trabajo que el resto de miembros del grupo.

VII. CONCLUSIONES Y VÍAS FUTURAS

Se ha presentado en este artículo el marco de aprendizaje Lego para un conjunto de asignaturas del itinerario de Tecnologías de la Información. En vista de los resultados, una primera conclusión a extraer es la satisfacción general con la implantación de Lego, tanto desde el punto de vista de los resultados académicos como de la valoración por parte del profesorado y el alumnado. Los autores consideran que el valor de esta experiencia trasciende los resultados académicos, ya que plantea a los estudiantes un escenario de experimentación real y la oportunidad de evaluar su capacidad para afrontar proyectos informáticos de envergadura.

Respecto a las líneas futuras de actuación, el enfoque modular de nuestra propuesta y su grado de adaptación a diversas situaciones curriculares de los estudiantes nos

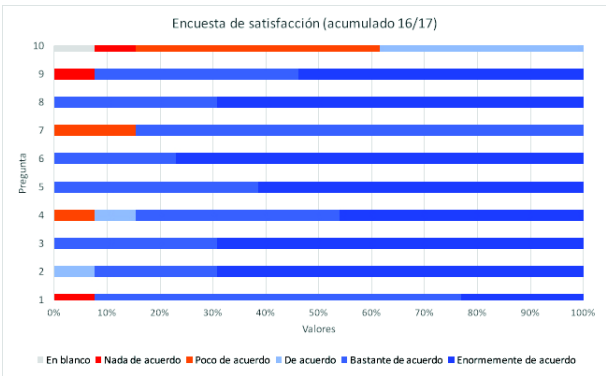
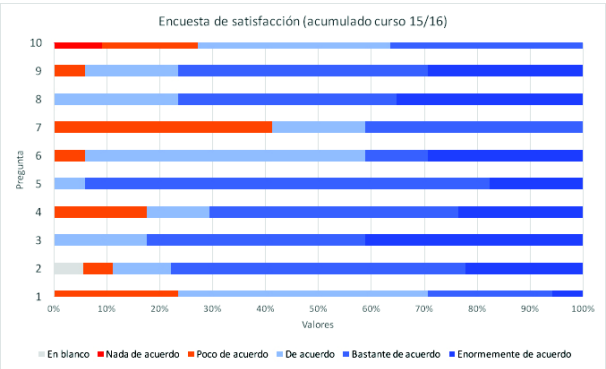


Fig. 4. Resultados acumulados de encuestas de satisfacción para los cursos 15/16 y 16/17.

TABLA II ENCUESTA DE SATISFACCIÓN, VALORACIONES ESPECÍFICAS		
Valoración	Puntos fuertes	Puntos débiles
Aspectos generales del proyecto	Integración contenidos Coordinación profesores	Diseño del sistema Realizar documentación
Trabajo en grupo	Capacidad gestionar conflictos Ambiente de trabajo Comunicación entre miembros Calidad resultado final	Cumplimiento de plazo
Grado de contribución personal al proyecto	Apropiado en la mayoría de los casos	Algo más de lo necesario en unos pocos casos

invitan a creer que el número de asignaturas que participan en la iniciativa crecerá cada año. También hemos identificado la necesidad de seguir mejorando las actividades de supervisión, especialmente las relacionadas con el diseño del proyecto, con el fin de facilitar aspectos que a la larga pueden plantear una carga excesiva de trabajo para los estudiantes.

REFERENCES

- [1] E. Aronson, and S. Patnoe, *Cooperation in the Classroom: The Jigsaw Method*, Ed. Pinter and Martin Ltd, 2001.
- [2] K. Bain. *What the best college teachers do*. Harvard University Press, 2011.
- [3] C. Barrado, R. Cuadrado, L. Delgado, F. Mellibovsky, E. Pastor, M. Pérez, et al. "Una experiencia de unificación de asignaturas para desplegar PBL (y las quejas que originó)," actas de las XIX JENUI, 2013.
- [4] J.B Biggs, *Teaching for quality learning at university: What the student does*, McGraw-Hill Education, 2011.
- [5] J.M. Blanco, A. Goñi, J. Iturrioz, I. Usandizaga, and J.A. Vadillo. "Diseño de una propuesta de proyecto transversal para la especialidad de Ingeniería del Software del Grado en Ingeniería Informática," Actas del simposio-taller sobre estrategias y herramientas para el aprendizaje y la evaluación, Universitat Oberta La Salle, 2015.
- [6] A.W. Chickering, and Z.F Gamson. "Seven principles for good practice in undergraduate education," AAHE bulletin, vol. 3, no. 7, 1987.
- [7] F. Llorens, "ABPgame: un videojuego como proyecto de aprendizaje coordinado para varias asignaturas." II Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad, 2013.
- [8] T. Markham, *Project based learning handbook: A guide to standards-focused project based learning for middle and high school teachers*, Buck Institute for Education, 2003.
- [9] M. Marqués, "Qué hay detrás de la clase al revés (flipped classroom)," Actas de las XXII JENUI, 2016.
- [10] J.W. Pellegrino, and M.L. Hilton, *Education for life and work: Developing transferable knowledge and skills in the 21st century*, National Academies Press, 2013.



Óscar Cánovas Reverte es Doctor en Ingeniería Informática por la Universidad de Murcia y profesor del Departamento de Ingeniería y Tecnología de Computadores de la Facultad de Informática de la Universidad de Murcia. Entre sus intereses docentes se encuentran las materias de redes de comunicaciones. Adicionalmente, ha dirigido varios proyectos de innovación docente y ha publicado artículos sobre docencia en congresos nacionales e internacionales.



Gabriel López Millán es Doctor en Ingeniería Informática por la Universidad de Murcia y profesor del Departamento de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones de la Facultad de Informática de la Universidad de Murcia. Entre sus intereses docentes se encuentran las áreas de redes de comunicaciones, servicios telemáticos y seguridad, áreas donde además centra su trabajo de investigación. Es autor de diversos artículos en congresos y revistas nacionales e internacionales, ha participado en varios proyectos de investigación europeos y en diversos trabajos del IETF.



Gregorio Martínez Pérez es Doctor en Ingeniería Informática por la Universidad de Murcia y profesor del Departamento de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones de la Facultad de Informática de la Universidad de Murcia. Entre sus intereses docentes se encuentra las materias de programación y seguridad en redes de ordenadores. Es en esta última temática en la que centra su labor investigadora. Es autor de artículos en congresos y revistas y participa en varios proyectos de investigación.

Página en Blanco

Capítulo 7

¡Acepta el Reto!: Juez Online para Docencia en Español

Pedro Pablo Gómez Martín y Marco Antonio Gómez Martín

Title—Take on the challenge!: online judge for teaching in Spanish

Abstract—This paper presents *¡Acepta el reto!* (Take on the challenge! in Spanish), an online judge that provides programming problems written up in Spanish and created specifically for practising subjects taught in CS degrees and vocational training courses. It contains a repository with more than 300 problems that can be browsed through a set of categories, what eases the task of finding the more suitable problems. Many of them have been designed in such a way that they must be solved using algorithms with not just a time complexity bound, but also with a concrete space complexity, something that is unusual in other online judges. It has been used during the last few years at the Universidad Complutense of Madrid, and also in different vocational training centres, reaching out more than 200.000 code submissions since then.

Keywords— online judges, programming teaching, competitive programming

Abstract—En este artículo presentamos *¡Acepta el reto!*, un juez online en el que los autores ponen a disposición de los usuarios problemas en español planteados específicamente para el aprendizaje por parte de los alumnos de las diferentes asignaturas de los Grados de Informática y Ciclos Formativos. Dispone de una batería de unos 300 problemas, que pueden recorrerse por categorías, lo que simplifica encontrar aquellos que resulten más adecuados en cada momento. Muchos de los problemas están pensados para forzar soluciones con complejidades específicas no solo en tiempo, sino también en espacio, algo poco habitual en otros jueces. Con más de 200.000 envíos recibidos, ha sido utilizado durante varios años en la Universidad Complutense de Madrid así como en un creciente número de institutos de Formación Profesional.

Keywords— jueces en línea, enseñanza de la programación, programación competitiva.

I. INTRODUCCIÓN

ES conocida la máxima “*a programar se aprende programando*”, y prueba de ello es la cantidad de prácticas y ejercicios que los profesores requerimos a nuestros alumnos en las primeras etapas de su aprendizaje. Con el asentamiento de la evaluación continua en las universidades, esta realidad no ha hecho sino crecer.

Una forma de conseguir que los alumnos programen de manera autónoma y reciban retroalimentación sin sobrecargar de trabajo al profesorado consiste en hacer uso de herramientas que faciliten la corrección automática. Los pioneros en esta labor surgieron a raíz de los concursos de programación, pues se necesita proporcionar de manera casi inmediata una evaluación de las soluciones enviadas por los participantes.

El *software* diseñado para la gestión de concursos poco a poco fue utilizándose fuera de ellos en lo que vino a llamarse *jueces online*. Éstos nacieron con el fin de que los futuros participantes pudieran entrenar para ediciones posteriores de los concursos.

Sin embargo, la evaluación automática y los problemas que plantean pueden ser utilizados no solo por programadores expertos que quieren mejorar sus habilidades competitivas, sino también por programadores noveles que buscan un aprendizaje curricular.

En este artículo presentamos *¡Acepta el reto!*¹, un juez online destinado a ese tipo particular de usuarios. En él, los problemas están categorizados para facilitar su búsqueda, y contienen restricciones tanto en tiempo como en espacio que persiguen filtrar soluciones poco eficientes para forzar a los estudiantes a pensar en la complejidad del código que escriben.

El apartado siguiente hace un recorrido por la historia de los jueces online, para pasar después, en el apartado III, a describir la historia y características de *¡Acepta el reto!*. El apartado IV describe la arquitectura del sistema y es seguida por un análisis de los problemas disponibles. El apartado VI

Este trabajo fue presentado originalmente en las XXII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2017)

Pedro Pablo Gómez Martín y Marco Antonio Gómez Martín son profesores del Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial de la Universidad Complutense de Madrid, C/ Profesor José García

Santesmases, 9, Ciudad Universitaria, 28040, Madrid ({pedrop,marcoa}@fdi.ucm.es).

Este trabajo ha sido financiado por la UCM (Grupo 910494) y por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (TIN2014-55006-R).

¹ <https://www.aceptaelreto.com/>

enumera algunos usos del juez en contextos educativos. El artículo termina con unas conclusiones y trabajo futuro.

II. ESTADO DEL ARTE

La programación es uno de los puntos clave de la informática. Para poner a prueba los conocimientos de los estudiantes universitarios, en la ya lejana década de 1970 surgió el que se considera el concurso de programación más antiguo, el ACM/ICPC (*International Collegiate Programming Contest*), que superó los 40.000 participantes en 2015 [1]. Para los alumnos de secundaria, desde 1989 se celebra la IOI (*International Olympiad in Informatics*), la segunda mayor olimpiada de las organizadas bajo la tutela de la UNESCO, en cuya final participaron, en 2015, 322 participantes de 83 países diferentes [7]. Es significativo que, a pesar de ser las Olimpiadas de la Informática en general, se centran únicamente en programación, dejando de lado el resto de áreas como *hardware* o redes.

En esos concursos, los participantes se enfrentan a problemas de programación que deben resolver en un tiempo máximo y teniendo en cuenta las restricciones específicas de cada problema. Inicialmente, las soluciones enviadas eran evaluadas manualmente por los jueces humanos, probándolas con baterías de casos preparadas con antelación. Con el tiempo, fueron surgiendo *jueces automáticos* para la gestión de los concursos, que terminaron desembocando en los llamados *jueces online* [10], en los que los usuarios pueden mandar soluciones a los problemas en cualquier momento, sin estar atados a la duración de un concurso determinado.

Específicamente, un juez online es una plataforma software que contiene la descripción de diferentes problemas de programación, junto con baterías de pruebas, secretas, con las que probar si una determinada solución es o no correcta. Los usuarios pueden registrarse y enviar sus soluciones, que son evaluadas automáticamente y reciben un veredicto.

Probablemente el juez online más antiguo y conocido es el gestionado por el profesor Miguel Á. Revilla, de la Universidad de Valladolid [14], aunque con el tiempo han surgido muchos otros. Inicialmente, el objetivo principal de estos jueces era facilitar a futuros concursantes el entrenamiento a través de las baterías de problemas de concursos anteriores. Sin embargo, desde hace varios años se consideran útiles también para el *aprendizaje curricular* [9][16], hasta el extremo de que han surgido algunos jueces online concebidos desde el principio como herramientas pedagógicas [12][13].

A la estela del funcionamiento de los concursos de programación como el ACM/ICPC, los problemas propuestos en los jueces online suelen exigir que los programas lean de la entrada estándar un conjunto de *casos de prueba*, y para cada caso generen, por la salida estándar, un resultado. La validación de una determinada solución se realiza a través de *análisis dinámico*, de modo que el código es compilado y ejecutado en el servidor y, utilizando las capacidades de redirección del sistema operativo, se le proporciona por la entrada una batería de casos de prueba creados de antemano. La salida dada por la solución es comparada con la esperada, creada con la solución oficial implementada por los autores del problema, y dependiendo del resultado de la comparación se proporciona un veredicto u otro. El abanico de posibles

veredictos varía con cada juez, aunque los más habituales son:

--*Aceptado* (AC): la salida dada por el programa encaja exactamente con la esperada.

--*Error de presentación* (PE): la salida es correcta salvo por los separadores. Ocurre, por ejemplo, si el programa tiene espacios o saltos de línea sobrantes.

--*Respuesta incorrecta* (WA): la salida no encaja con la esperada.

--*Error de ejecución* (RTE): el programa falló durante la ejecución y no llegó a terminar. Es el veredicto habitual cuando un programa en C/C++ realiza una operación inválida, o uno en Java genera una excepción no controlada.

--*Límite de tiempo excedido* (TLE): el programa estaba tardando demasiado tiempo en ejecutarse, y fue detenido antes de que pudiera terminar.

--*Límite de memoria excedido* (MLE): el programa solicitó demasiada memoria, y fue detenido antes de terminar.

--*Error de compilación* (CE): el código enviado ni siquiera ha llegado a compilar.

Es significativo que en la mayoría de los jueces los veredictos que no son de aceptación no proporcionan ayuda adicional sobre la causa que lo ha originado, ni siquiera en aquellos pensados para docencia. Algunos proporcionan la salida del compilador en el caso del veredicto *Error de compilación*, pero no es habitual que se proporcione la causa de un *Error de ejecución* (por ejemplo, la señal que ha originado la detención de la ejecución, o la excepción generada), y mucho menos aún que se proporcione el caso de prueba que ha fallado y originado la *Respuesta incorrecta*. Las razones para esta ausencia de retroalimentación son múltiples. La primera quizá sea la relación histórica de estos jueces con los concursos de programación, en los que la información a los usuarios es ínfima al realizarse en contextos competitivos. Otra causa es evitar, en la medida de lo posible, las *fugas de información*. Si un juez online proporcionara los detalles de la excepción Java que ha ocasionado la detención de la ejecución, nada impediría que un usuario generara excepciones específicas para averiguar detalles de las interioridades de los casos de prueba secretos. Por último, no puede ser olvidada la dificultad de proporcionar más información, pues debido a la generalidad de los problemas y las diferentes opciones para gestionar la entrada y la salida que tienen las soluciones, resulta complicado técnicamente averiguar con exactitud el caso de prueba que hizo fallar al programa.

Pese a la ausencia de retroalimentación, la evaluación de los envíos usando análisis dinámico del código gracias a los conjuntos de casos de prueba es utilizada también en muchos de los tan extendidos MOOC (*Massive Online Open Courses*, Cursos Online Masivos y Abiertos). No obstante, para paliar la ausencia de retroalimentación, han surgido muchos sistemas más específicos [2][4][15], que la mejoran a costa de restringir el abanico de posibles problemas que el usuario puede resolver. Esto complica la autoría de los problemas y su disponibilidad, pero consiguen una enseñanza mucho más dirigida.

III. EL JUEZ ONLINE ¡ACEPTA EL RETO!

¡Acepta el reto!² es un juez online con más de 300 problemas de programación en español, creados pensando en los alumnos de las diferentes asignaturas de los Grados de Informática y Ciclos Formativos. El nivel de dificultad de los problemas es amplio, existiendo problemas diseñados específicamente para las primeras semanas de los cursos de introducción a la programación donde únicamente se conocen variables y expresiones, hasta problemas complejos que requieren algoritmos sobre grafos o conocimiento de teoría de números. Permite envíos en C, C++ y Java, y para cada envío realizado informa del tiempo y de la memoria total consumida.

¡Acepta el reto! nació en 2014 para servir, al igual que muchos otros jueces online, como *archivo vivo* de los problemas de programación creados por los autores. En particular, en 2011 habían puesto en marcha ProgramaMe³, el concurso español de programación para Ciclos de Formación Profesional. Además, llevaban varios años usando programación competitiva para evaluación continua en clase utilizando software de jueces de concursos [5].

El número de problemas que habían creado utilizando los esquemas de los concursos iba en aumento, y para evitar que todos esos problemas fueran “de un solo uso” decidieron embarcarse en la aventura del desarrollo de un juez online, para que pudieran seguir siendo útiles a otros estudiantes.

Desde el principio, se plantearon varios puntos diferenciadores respecto a otros jueces online, a los que el juez sigue siendo fiel:

--Los enunciados de los problemas están en español. La inmensa mayoría de los problemas de los jueces online están en inglés, lo que supone una barrera para muchos de los alumnos de los primeros cursos de los grados o de los Ciclos de Formación Profesional.

--Los problemas están *categorizados* de acuerdo a diferentes ejes, varios directamente relacionados con los contenidos impartidos en las asignaturas de programación de los Grados y los Ciclos Formativos. Esto facilita tanto a profesores como a alumnos encontrar problemas aptos para el momento del aprendizaje en el que se encuentren.

--Muchos problemas y sus casos de prueba persiguen objetivos pedagógicos específicos, por lo que los límites de tiempo y memoria están afinados en función de ellos. Si bien no es extraño que en los concursos de programación el tiempo límite se ajuste para restringir las soluciones

posibles, los jueces online que actúan como archivo de problemas hechos por terceros no siempre son tan cuidadosos. En lo que se refiere al límite de memoria, ni los concursos ni los jueces online son estrictos, por lo que ¡Acepta el reto! es, hasta lo que alcanza nuestro conocimiento, el único juez que permite forzar soluciones con complejidades en memoria específica.

El juez recibió su primer envío el 17 de febrero de 2014, y desde entonces el número de problemas, usuarios y envíos no ha dejado de crecer. En enero de 2018 recibió su envío número 200.000 de un total de 8.000 usuarios de diferentes países hispanohablantes. La figura 1 muestra la evolución a lo largo del tiempo tanto del número de usuarios registrados como de envíos. Aparte de los veredictos habituales que se describieron en la sección II, se añaden otros más específicos disponibles en el juez, en particular:

--*Cantidad de salida excedida* (OLE): el programa ha generado demasiada salida y ha sido abortado.

--*Función restringida* (RF): el programa ha intentado hacer alguna operación considerada peligrosa para el servidor (como abrir un fichero) y ha sido abortado.

--*Error interno* (IE): el juez ha sufrido algún problema que ha imposibilitado la evaluación del envío. Solo 25 de los más de 200.000 envíos han sufrido este veredicto.

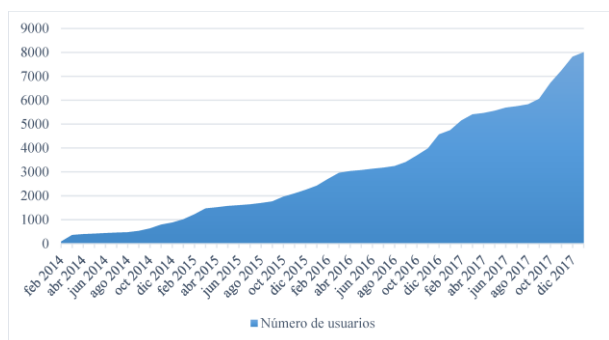
IV. ARQUITECTURA

Los jueces online deben realizar principalmente dos labores: proporcionar un interfaz de usuario para que los estudiantes naveguen por los problemas, lean los enunciados y hagan envíos, y ejecutar esos envíos, evaluarlos y proporcionar un veredicto. La forma en la que se implementen ambas tareas, y cómo se relacionen a nivel software, determinará la arquitectura general del juez online.

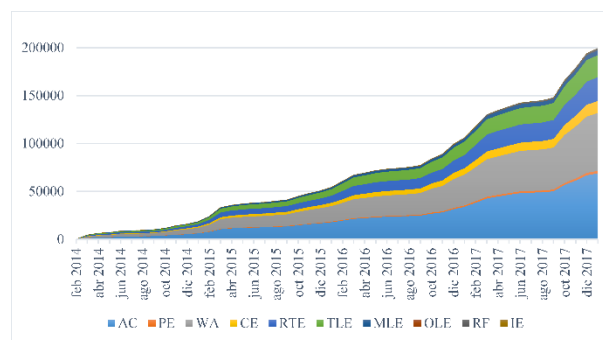
La literatura describe la arquitectura de varios de los sistemas para gestión de concursos más conocidos, así como algunos jueces online [3][8][11][13]. Las aproximaciones seguidas varían enormemente, sobre todo dependiendo del instante en el que se iniciara su desarrollo al ser el principal factor que determina la tecnología que usa cada uno.

La arquitectura de ¡Acepta el reto! está organizada en los siguientes elementos:

--*Backend*: se encarga del almacenamiento y acceso a los datos (usuarios, problemas, envíos, etcétera), publicando



(a) Número de usuarios registrados



(b) Número de envíos y veredictos (acumulados)

Fig. 1. Estadísticas generales de ¡Acepta el reto!

² <https://www.aceptaelreto.com>

³ <http://www.programa-me.com>

un conjunto de *servicios web* utilizados por el resto de elementos.

--*Frontend*: proporciona el *interfaz web* al juez online. Todo el acceso a los datos se realiza a través de los servicios web del *backend*.

--*Demonios*: se encargan de las tareas del juez online que están más allá de la gestión básica de los datos realizada por el *backend*. El demonio más importante es el que se encarga de evaluar los envíos que llegan, pero existen otros como el encargado de procesar los nuevos problemas que se desean publicar, o el que recorre los últimos envíos y actualiza los *rankings*. Los demonios se desarrollan utilizando un lenguaje u otro en función de su objetivo y necesidades.

La figura 2 muestra el esquema de comunicación general. El *backend* y el *frontend* se ejecutan en la misma máquina, pero los demonios están, por seguridad, en máquinas secundarias sin conexión directa a internet.

El *backend* hace uso de una base de datos en MySQL como sistema de almacenamiento principal, así como ficheros en disco para los enunciados de los problemas en sus diferentes formatos. Los servicios web están programados en una aplicación web que se despliega en una instancia de Tomcat.

El *frontend* está desarrollado en PHP, y proporciona las páginas web a los navegadores. En algunos casos, éstos se conectan directamente a los servicios web para actualizar dinámicamente el contenido, principalmente en las páginas que listan los últimos envíos.

En lo referente a seguridad, el punto más delicado está en el demonio que evalúa los envíos, dado que el juez recibe *código arbitrario* que debe ejecutar. Para mitigar los efectos de un posible código malicioso, los envíos se compilan y ejecutan en entornos de ejecución restringida. En particular:

--Cada envío se ejecuta utilizando un usuario y grupo del sistema nuevos, creados para la ocasión, sin contraseña (no puede hacer *login*), sin *shell* configurado ni directorio *home*.

--La ejecución se realiza en una *jaula chroot* que evita el acceso a ficheros sensibles.

--Se establecen límites de recursos en el sistema operativo antes de la ejecución de los envíos, restringiendo el número de procesos, consumo de CPU y memoria que pueden realizar.

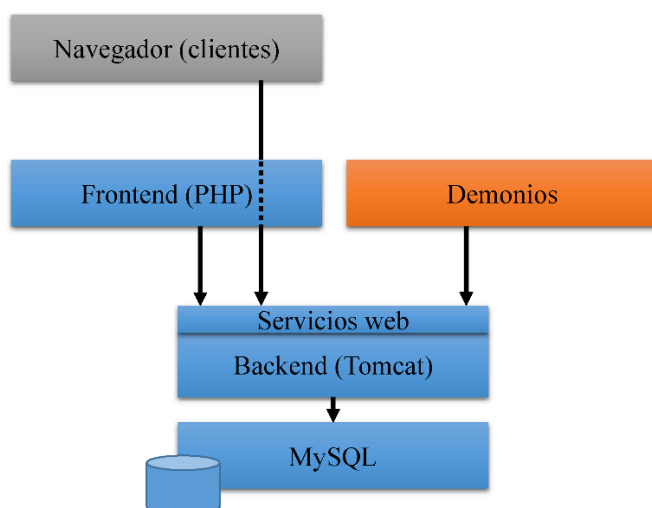


Fig. 2 Arquitectura general de ¡Acepta el reto!

La ejecución de los envíos en Java ocasiona una complicación adicional en lo referente a la restricción del uso de memoria. Como se ha comentado en la sección III, una de las características del juez es la posibilidad de ajustar con exactitud el consumo de memoria, para poder forzar soluciones con complejidades en espacio específicas. Como se describirá más adelante, esto supone que el consumo máximo de memoria debe estar severamente restringido: algo más del 75% de los casos de prueba del juez se ejecutan imponiendo un límite de memoria de sólo 4 MiB, y el máximo límite utilizado son 64 MiB, usado en el 0.5% de todos ellos.

La máquina virtual de Java (JVM), necesaria para ejecutar los envíos programados en dicho lenguaje, requiere varios órdenes de magnitud por encima de ese límite de 4 MiB para ponerse en marcha. El demonio que evalúa los envíos diferencia el lenguaje del envío de modo que si se realizó en un lenguaje compilado a código máquina (C o C++), el límite de memoria se establece para el proceso en conjunto, pero si se realizó en Java se aplica únicamente al *heap*, es decir al espacio de memoria disponible para memoria dinámica. Comparativamente esto significa que los envíos en C o C++ disponen de *menos memoria* en conjunto, porque en el mismo espacio deben incluir también el ejecutable y la pila. Sin embargo, la propia JVM hace uso del *heap* para mantener sus estructuras internas, y tras más de 300 problemas creados no se han observado diferencias que hagan pensar que con este modelo se favorece a unos lenguajes frente a otros.

El modo en el que el juez mide el tiempo y la memoria consumida por las soluciones recibidas también depende del lenguaje. La medición de la memoria máxima utilizada por la JVM se restringe también al uso del *heap*. Además, su medición tiene mucha menos precisión, dado que se ve interferida por el recolector de basura. El juez mide el consumo máximo de *heap* pero es probable que en ese pico buena parte de la memoria haya sido ya “liberada” por el programa y esté a la espera de ser reclamada por el recolector. Por tanto, existe una tendencia a que el juez informe de una memoria consumida mayor en los envíos en Java que en C o C++. Esto tiene implicaciones también durante la publicación de los problemas, pues no es fiable elegir el límite de memoria utilizando las soluciones en Java: si se pone un límite alto, la JVM tenderá a utilizarlo todo para no hacer saltar el recolector, pero no es síntoma de que una determinada solución haga un uso excesivo de memoria. Por otro lado, reducir la cantidad de memoria disponible tiene una repercusión negativa en el tiempo de ejecución al ocasionar más ejecuciones del recolector. Ha sido necesario paliar este problema incorporando mecanismos específicos para medir el consumo de CPU únicamente del *código de usuario* (y no de la JVM) en ese tipo de envíos.

Si bien los detalles quedan fuera del alcance de este artículo, lo que se pretende poner de manifiesto es que la inclusión de límites estrictos en el consumo de memoria, así como su medición, requieren técnicas específicas para evaluar las soluciones programadas en lenguajes que se ejecutan sobre máquinas virtuales con recolección de basura, como Java. Eso significa que incorporar nuevos lenguajes a la lista de los soportados por el juez (por ejemplo C# o Python) tiene implicaciones técnicas más allá de las sufridas por otros jueces online. Este es el principal motivo del

reducido número de lenguajes soportados, pese a que su ampliación sea una característica a menudo solicitada por los usuarios.

V. PROBLEMAS DISPONIBLES

Desde su puesta en marcha en febrero de 2014, el número de problemas disponibles en *¡Acepta el reto!* no ha dejado de crecer. La figura 3 muestra que el mayor incremento de incorporación de problemas se produjo durante sus primeros meses de vida. Como se ha dicho, el juez nació para servir de *archivo vivo* de los problemas que se habían ido creando en los años anteriores, por lo que al principio había muchos problemas esperando su puesta en marcha para poder ser publicados. Desde entonces, la incorporación ha sido más irregular pero constante, con los problemas creados para concursos o para evaluación continua y exámenes. En diciembre de 2017 se alcanzaron los 345 problemas publicados.

Los enunciados de todos los problemas tienen la misma estructura, similar a la utilizada en muchos concursos de programación. Comienzan con una ambientación para hacerlos más atractivos. Por ejemplo, en lugar de pedir si un número es o no par se habla de la numeración de las viviendas en una calle (problema 217), para pedir ordenar tres números se habla de la devaluación del dólar zimbabuense (problema 356) y para pedir el mayor de una lista de números se recurre a los San Fermín (problema 149). Aparte de cumplir un objetivo cosmético, la ambientación también fuerza a los alumnos a *interpretar* el texto, separar lo superfluo de lo importante y deducir qué es lo que realmente se les está pidiendo. En algunas ocasiones, ésta resulta ser de hecho la parte más compleja, al esconder problemas clásicos de programación bien conocidos para que pasen desapercibidos (por ejemplo, el problema 145, “El tren del amor” esconde un problema de expresiones parentizadas, o el problema 230, “Desórdenes temporales”, oculta que se debe calcular el número de inversiones de un vector).

Tras la ambientación, se dan los detalles de la entrada que deberán procesar las soluciones, y se especifica el formato exacto de la salida. Finalmente se proporciona una batería de casos de ejemplo, cuyo objetivo no es permitir a los alumnos comprobar sus soluciones de antemano, sino sobre todo

ayudarles a confirmar que han entendido lo que se está pidiendo.

La navegación por la batería de problemas se puede realizar por *volúmenes* o por *categorías*. Un volumen no es más que la agrupación de 100 problemas, sin ninguna relación lógica entre ellos más allá de que fueron incorporados al sistema en fechas cercanas. Así, por ejemplo, el primer volumen contiene los 100 primeros problemas que se publicaron (identificadores del 100 al 199), el segundo contiene los 100 siguientes, y así sucesivamente. El recorrido por volúmenes, por tanto, no está dirigido a un tipo de problema específico, y solo sirve para escoger un problema aleatorio o para hacerse una idea global del juego de problemas disponible.

A nivel pedagógico, es mucho más interesante el recorrido por categorías, pues permite una búsqueda dirigida en función de los elementos de programación o algoritmia que se quieran practicar. La Tabla I enumera las categorías más importantes, organizadas en tres ejes: construcciones de programación, estructuras de datos y algoritmia. Los problemas se incorporan en las categorías que mejor indican el objetivo pedagógico para el que fueron creados. Así, por ejemplo, el problema 356 de ordenar tres números pertenece a la categoría de *Condicionales* y no de *Ordenación*, dado que, al necesitar ordenar únicamente tres valores, se planteó para que los alumnos practicasen los condicionales y no la implementación de algoritmos de ordenación. Aun así, es habitual que los problemas pertenezcan a más de una categoría; siguiendo con el mismo problema, también pertenece a la categoría *Límite de la representación*, al utilizar números grandes que requieren enteros de 64 bits, lo que exige a los alumnos preocuparse de los detalles de los límites.

A pesar de la existencia de las categorías, cuando se muestra un problema concreto, éstas *no son visibles*; para muchos, parte de la diversión de enfrentarse por primera vez a un problema reside en averiguar su nivel de dificultad y las herramientas algorítmicas que son necesarias para su resolución. Si las categorías fueran visibles, desvelarían esa información que muchos prefieren no conocer, y que actúan como pistas. Naturalmente, los profesores tienen siempre la oportunidad de dar a sus alumnos tanta información como deseen, en particular informar sobre dichas categorías dependiendo del uso que vayan a dar a los problemas.

TABLA I
CATEGORÍAS PRINCIPALES DE LOS PROBLEMAS DE *¡ACEPTA EL RETO!*

Construcciones de programación	Estructuras de datos	Algoritmia
Expresiones	Arrays	Ad-hoc
Condicionales	Arrays multidimensionales	Recorridos
Bucles simples	Estructuras simples	Búsqueda
Bucles anidados	Cadenas	Búsqueda binaria
Procesamiento de la entrada	Pilas	Ordenación
Generación de la salida	Listas	Algoritmos voraces
Recursión	Colas	Programación dinámica
Límite de la representación	Colas de prioridad	Divide y vencerás
	Conjuntos	Búsqueda exhaustiva y vuelta atrás
	Árboles	Búsqueda en el espacio de soluciones
	Tablas hash	
	Conjuntos disjuntos	

En lo que se refiere a la *autoría* de los problemas, aparte de crear el enunciado y los ejemplos es necesario realizar *soluciones oficiales* y *generadores de casos de prueba*. Para todos los problemas del juez los autores han creado, al menos, una solución en cada uno de los lenguajes soportados (C, C++ y Java). Esto no solo facilita la detección de errores, sino que permite medir el consumo de CPU y memoria de esas soluciones de referencia para poder especificar los límites.

Además de las soluciones oficiales, es necesario crear las baterías de casos con las que se pondrán a prueba los envíos de los alumnos. Como se describió en la sección II, los problemas utilizan un esquema de la entrada tal que permite, en una sola ejecución, probar múltiples casos de prueba. Así, por ejemplo, en el problema de ordenar tres números cada caso de prueba serán esos tres números, y el programa deberá procesar tantos tríos como indique la primera línea de la entrada. Para proporcionar al lector una idea de la exhaustividad de las pruebas a las que se someten los envíos recibidos, la figura 4.a muestra un histograma relacionando el número de problemas con la cantidad de casos de prueba (en escala logarítmica). Se puede observar que más del 80% de los problemas tiene más de mil casos de prueba, y que el 45% tienen más de 10.000. Estas cifras tienen repercusión en el tamaño físico de los ficheros de entrada suministrados y de salida esperados. La figura 4.b muestra que más de la mitad de los problemas tienen juegos de pruebas que superan 1 MiB, y casi el 25% supera los 4. El espacio necesario por los casos de todos los problemas roza los 870 MiB, lo que supone una media de más de 2.5 MiB por problema.

Los problemas son ejecutados múltiples veces, cada vez con una batería de casos distinta. Al menos se ejecutan con tres baterías diferentes: el ejemplo proporcionado en el enunciado, una batería vacía (sin ningún caso), y una batería adicional exhaustiva con muchos casos de prueba. Es importante que las pruebas realizadas a los envíos sean exhaustivas para no dar por buenas soluciones que no lo son, por lo que la mayoría de las veces los problemas se prueban con más baterías de casos. Es habitual disponer de una batería exhaustiva con infinitud de casos pequeños, otra con muchos casos medianos, y una última con unos pocos casos grandes, donde el significado de casos pequeños, medianos y grandes dependerá de la naturaleza de cada problema particular. La figura 4.c muestra un histograma con el número de problemas que tienen diferentes cantidades de generadores de casos de prueba, sin contar el ejemplo y la batería vacía. Más del 65% de los problemas tienen 3 o más generadores.

Las baterías de casos de prueba se especifican a través de *generadores*, es decir programas que escriben por su salida estándar la lista de casos de prueba. La creación de las soluciones y los generadores es especialmente importante en los problemas que quieren forzar soluciones con complejidades (en espacio o memoria) específicos.

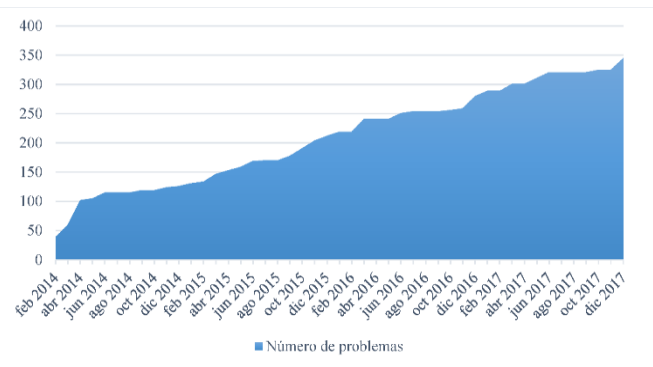
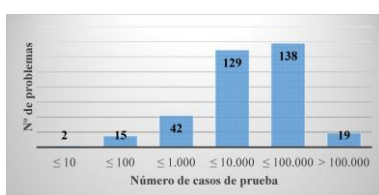


Fig. 3. Evolución del número de problemas en ¡Acepta el reto!

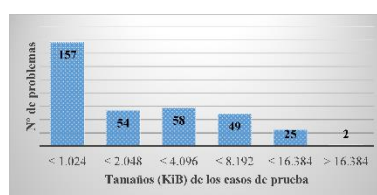
Por ejemplo, el problema 132, “Las cartas del abuelo”, pregunta, sobre una cadena de hasta 1.000.000 caracteres, si todas las letras de múltiples intervalos son la misma. Los límites del problema están planteados para que aquellas soluciones que sean lineales en el tamaño de cada intervalo no sean aceptadas por superar el tiempo límite. Para eso, los autores crearon no solo las soluciones oficiales correctas en cada lenguaje, sino hasta 5 soluciones más, con diferentes complejidades en tiempo, para estar seguros de que sólo las más óptimas serán admitidas en el juez. Otros problemas más complicados pueden requerir incluso más soluciones, como el problema 286, “Paradojas espacio-temporales” para el que los autores plantearon 17 soluciones diferentes.

En ¡Acepta el reto! también hay problemas en los que la dificultad está en superar las restricciones de memoria. Esta característica se utiliza principalmente en problemas en los que se fuerza al procesamiento de la entrada sobre la marcha. Por ejemplo, el problema 248, “Los premios de las tragaperras”, proporciona una secuencia de números y pide encontrar la subsecuencia contigua más larga que ocasione la mayor suma, sabiendo que se puede *reiniciar* (la secuencia de entrada funciona como un ciclo). Una de las dificultades del problema está en que el límite de memoria impide almacenar la secuencia en memoria, por lo que es necesario adaptar el algoritmo de Kadane para lidiar con esa restricción adicional. Algo más del 40% de los envíos de este problema sufre el veredicto *Límite de memoria excedido*, a pesar de ser un veredicto casi desaparecido en muchos otros problemas.

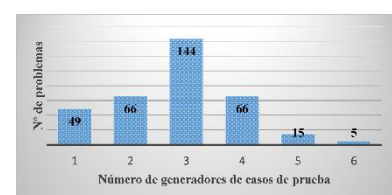
La posibilidad de añadir limitaciones tanto en tiempo como en memoria a las ejecuciones permite una gran versatilidad a la hora de plantear problemas. Desgraciadamente, el propio modelo de evaluación impone algunas limitaciones, que no son específicas de ¡Acepta el reto!, sino que están en la naturaleza de todos los jueces online. La más obvia es que no es posible utilizar el juez para evaluar programas con *interfaz gráfico*, aunque esta restricción no es muy relevante para el contexto de la enseñanza de algoritmia. Una limitación mucho más grave es la dificultad para forzar algoritmos de complejidad logarítmica. Por ejemplo, un problema en el que



(a) Número de casos de prueba



(b) Tamaño (KiB) de los casos de prueba



(c) Número de generadores

Fig. 4. Histograma del número de problemas respecto a sus casos de prueba

se quiera forzar la implementación de *búsqueda binaria* sobre un vector pondrá en serios apuros al autor. La razón es muy sencilla. Para poder hacer la búsqueda sobre el vector es necesario primero *leer su contenido* de la entrada estándar, y esa lectura tendrá coste lineal. Una búsqueda binaria o lineal sobre él quedará diluida en la constante multiplicativa y será imposible discernir cuál se ha usado utilizando únicamente medidas de tiempo consumido. La técnica habitual usada en concursos es forzar a que se hagan, para los mismos datos, múltiples consultas independientes, de modo que hay una única lectura pero muchas búsquedas, para que las diferencias en tiempo de ejecución entre ambas opciones se hagan más patentes. Aunque esta solución es viable, y se ha utilizado en algunos problemas, el esquema de la entrada se hace más complicado y requiere programación adicional que puede inducir a errores adicionales más allá del propio algoritmo de búsqueda que se quiere poner en práctica.

VI. USO EN CLASE

Actualmente, *¡Acepta el reto!* no proporciona ningún apoyo explícito a la docencia en el sentido de diferenciar el rol del alumno y del profesor. En particular, el código enviado por un usuario es solamente visible por ese usuario, y por tanto no hay ninguna forma articulada que permita a un profesor ver el código enviado por sus alumnos.

Aun así, el sistema se ha utilizado con éxito en clase en diferentes asignaturas de varios Grados, y en módulos de Ciclos Formativos de Formación Profesional [6]. La disponibilidad de una batería de problemas lista para ser usada es suficiente motivación como para que muchos profesores decidan hacer uso del sistema a pesar de estas limitaciones. Cuando se utiliza para evaluación continua en el laboratorio, es habitual que el profesor exija que los alumnos que consiguen resolver el problema enseñen, sobre la plataforma, el envío que acaban de realizar. En otras ocasiones, los profesores solicitan que se les envíe el código por otros medios. Nos consta que algunos profesores prueban posteriormente las soluciones de sus estudiantes reenviándolas con sus propios usuarios.

Aunque tampoco se da soporte directamente, *¡Acepta el reto!* también se ha utilizado para organizar concursos locales en algunas instituciones educativas. En particular, algunos centros de secundaria organizan clasificatorios para elegir a sus representantes en ProgramaMe. En lugar de crear sus propios problemas y montar la infraestructura necesaria para organizar un concurso completo, utilizan directamente los problemas de *¡Acepta el reto!* y su juez para controlar los envíos de los equipos participantes.

Como desarrolladores de la plataforma, podemos explotar una característica adicional que nos permite crear páginas independientes que *vigilan* los envíos a problemas seleccionados. Esta capacidad no está aún abierta de manera generalizada a la comunidad (principalmente a otros docentes) aunque debido al éxito en las pruebas piloto no es de extrañar que la habilitemos en un futuro. En particular, la funcionalidad permite especificar un grupo de problemas, un intervalo de tiempo y un conjunto de usuarios, y la página muestra la lista de envíos realizados dentro de esos límites e

incluso una clasificación en función de qué usuarios han resuelto qué problemas y en cuánto tiempo.

Es una funcionalidad equivalente a la proporcionada en algunos otros jueces online para el desarrollo de concursos. Con esa idea, nosotros lo hemos utilizado para concursos de programación en línea como *Las 12 UVas*⁴ o para crear “series” de entrenamiento para concursos presenciales⁵. A nivel docente, esta funcionalidad la hemos utilizado también durante varios años a modo de *hojas de ejercicios públicas*, donde los alumnos pueden ver la lista de problemas propuestos para las diferentes temas de una asignatura, así como los envíos realizados por ellos mismos y por todos sus compañeros (figura5).

VII. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

¡Acepta el reto! es un juez online centrado en la enseñanza de la programación, cuyo principal activo son *sus problemas*. La mayoría de ellos están planteados con un objetivo pedagógico en mente, y en función de él se encuentran categorizados. Esto permite que los profesores (y alumnos) puedan buscar fácilmente aquellos que más les interesen en función de la etapa de aprendizaje en la que se encuentren.

Mención especial merecen los problemas que fuerzan soluciones con complejidades en tiempo y espacio específicas. Si bien el control de la complejidad en tiempo es relativamente habitual en los concursos de programación, cuando esos problemas terminan en los jueces online normalmente los responsables prestan poca atención a esos detalles y las restricciones se pierden, al menos parcialmente. Mucho más novedosa es la inclusión de las restricciones en memoria, que, hasta donde llega el conocimiento de los autores, no se tiene en cuenta en los concursos de programación ni tampoco en otros jueces online.

Aunque *¡Acepta el reto!* nació para facilitar la enseñanza y el aprendizaje de la programación en español, todavía hay puntos claros de mejora en él. La inclusión del perfil del profesor es clave para facilitar su uso en clase, y la inclusión de *pistas* y *recomendaciones* lo es para evitar la pérdida de usuarios debido a la frustración. Aunque el *backend* del sistema se planteó desde el principio para poder dar servicio a estas nuevas funcionalidades, todavía es necesario realizar trabajo adicional para tenerlas completamente operativas.

Por ejemplo, gracias a la comunidad activa de usuarios del juez, hemos ido recopilando en estos años un *corpus* de soluciones *incorrectas*, muchas de las cuales se repiten una y

El desgaste de los bombines
 Período de tiempo: Lunes, 17 Oct 2016 9:00 - Viernes, 21 Oct 2016 16:00 [Envíos totales: 494]
 Resolver un único problema, El desgaste de los bombines.
 La prueba es individual; cualquier alumno que resuelva el problema puntuará, siempre y cuando lo haga dentro del periodo de tiempo establecido.
 El problema “reparte” 0.5 puntos, con un máximo de 0.2 puntos por alumno.

#	Problem Title	User (username)	Verdict	Lang	Time	Best	Rank	Submit Time
81957	250 El desgaste de los...	...	Memory limit	C++	-	0.000	-	2016-10-21 15:37
81956	250 El desgaste de los...	...	Wrong answer	C++	0.860	0.000	-	2016-10-21 15:36
81955	250 El desgaste de los...	...	Compile error	C++	-	0.000	-	2016-10-21 15:34
81954	250 El desgaste de los...	...	Wrong answer	C++	1.268	0.000	-	2016-10-21 15:24
81951	250 El desgaste de los...	...	Accepted	C++	0.992	0.000	52	2016-10-21 14:31

#	Usuario (nick)	Resueltos	250
1	...	1 / 11:09	11(9)(3)
2	...	1 / 1:07	14(7)
3	...	1 / 2:06	24(9)
4	...	1 / 2:11	24(9)
5	...	1 / 2:17	24(13)
6	...	1 / 3:00	34(22)

Fig. 5. Envíos y clasificación de los alumnos en uno de los problemas de *¡Acepta el reto!* en su uso en una asignatura de Grado

⁴ <http://las12uv.es>

⁵ Como por ejemplo el de <http://ada-byron.es/2018/train.php>

otra vez. Estamos analizando las posibilidades que nos brinda esta batería de *errores comunes* para ayudar a nuevos usuarios. Desde hace algunos meses el juez es capaz de proporcionar pistas en lenguaje natural para algunos de estos errores habituales, lo que ha demostrado ser una característica útil. Aún falta mucho trabajo por hacer en este sentido, pero los resultados son prometedores.

Para ampliar el abanico de opciones, se han realizado algunas pruebas para incorporar modelos adicionales de evaluación de los envíos. Dignos de mención son los *problemas interactivos*, que, aparte de proporcionar un tipo de problemas poco habitual, permitirían poner a prueba la implementación de algoritmos logarítmicos sin las interferencias de los modelos de la entrada comentados antes.

AGRADECIMIENTOS

Aunque el desarrollo y puesta en marcha de *¡Acepta el reto!* sea culpa principalmente del esfuerzo de los autores, debemos agradecer a varios antiguos alumnos, Jéssica Martín, Javier Martín, Pablo Suárez, Luis María Costero y Jesús Javier Domenech, su implementación de los primeros prototipos del *frontend* web. Éstos sirvieron como prueba de concepto mientras se desarrollaba el *backend* y todos sus servicios.

Además, estamos en deuda con varios profesores y compañeros que han colaborado con nosotros en la creación de bastantes de los problemas. Patricia Díaz comenzó en la andadura de ProgramaMe y la redacción de sus problemas, y hoy Alberto Verdejo es quién mejor ha interiorizado nuestra pasión por el cuidado en la creación de los problemas. No podemos olvidar tampoco a Isabel Pita ni a Clara Segura, o a otros que, en mayor o menor medida, han colaborado, y colaboran, en la ampliación de la batería de problemas del juez.

REFERENCIAS

- [1] ACM/ICPC. “Fact Sheet – The 41st Annual World Finals of the ACM International Collegiate Programming Contest (ICPC)”, 2016.

- [2] Xavier Baró, David Masip, Elena Planas y Julià Minguillón. “PeLP: Plataforma para el aprendizaje de lenguajes de programación.” En *Actas de las XIX Jornadas de la Enseñanza Universitaria de la Informática*, JENUI, 2013.
- [3] California State University, Sacramento's. “PC2: Contest Administrator's Installation and Configuration Guide”, 2016.
- [4] Pedro Delgado-Pérez e Inmaculada Medina-Bulo. “Automatización de la corrección de prácticas de programación a través del compilador Clang”. En *Actas de las XXI Jornadas de la Enseñanza Universitaria de la Informática*, JENUI, 2015.
- [5] Marco Antonio Gómez Martín y Pedro Pablo Gómez Martín. “Uso de software de gestión de concursos de programación para evaluación continua”. En *Actas de las XIX Jornadas de la Enseñanza Universitaria de la Informática*, JENUI, 2013.
- [6] Marco Antonio Gómez Martín y Pedro Pablo Gómez Martín. “¡No corráis insensatos! Cómo reducir el absentismo en asignaturas de programación”. En *ReVision: Revista de Investigación en Docencia Universitaria de la Informática*. Vol. 11, núm. 1. ISSN 1989-1199
- [7] Artem Iglikov, Mansur Kutbayev y Bakhyt Matkarimov. “IOI 2015 report”. *Olympiads in Informatics*, 10, 2016.
- [8] Thijs Kinkhorst. “DOMjudge at Amrita”, 2013.
- [9] Adrian Kosowski, Michał Małafiejski y Tomasz Noinski. “Application of an online judge & tester system in academic tuition”. En *Proceedings of the 6th International Conference on Advances in Web Based Learning*, ICWL'07, 2008. Springer-Verlag.
- [10] Andy Kurnia, Andrew Lim y Brenda Cheang. “Online judge”. *Comput. Educ.*, 36(4), 2001.
- [11] José Paulo Leal y Fernando Silva. “Mooshak: A web-based multi-site programming contest system”. *Software – Practice and Experience*, 33, 2003. John Wiley & Sons, Inc.
- [12] Yingwei Luo, Xiaolin Wang y Zhengyi Zhang. “Programming grid: A computer-aided education system for programming courses based on online judge”. En *Proceedings of the 1st ACM Summit on Computing Education in China on First ACM Summit on Computing Education in China*, SCE'08, 2008. ACM.
- [13] Jordi Petit, Omer Giménez y Salvador Roura. “Jutge.org: An educational programming judge”. En *Proceedings of the 43rd ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, SIGCSE'12, 2012. ACM.
- [14] Miguel Á. Revilla, Shahriar Manzoór y Rujia Liu. “Competitive learning in informatics: the UVA online judge experience”. En Elena Verdú, Rubén M. Lorenzo, Miguel Á. Revilla y Luisa M. Regueras, editors, *A New Learning Paradigm: Competition Supported By Technology*. Sello Editorial, 2010.
- [15] Óscar Sapena, Mabel Galiano, Marisa Llorens y Natividad Prieto. “Aprender, enseñar y evaluar con CAP, un corrector automático de tareas de programación”. En *Actas de las XIX Jornadas de la Enseñanza Universitaria de la Informática*, JENUI, 2013.
- [16] Gui Ping Wang, Shu Yu Chen, Xin Yang y Rui Feng. “OJPOT: online judge & practice oriented teaching idea in programming courses”. *European Journal of Engineering Education*, 41(3), 2016.



Pedro Pablo Gómez Martín fue profesor de la Facultad de Informática de la Universidad Complutense entre 2001 y 2005, y lo ha vuelto a ser desde 2011, tras unos años dando clase en Formación Profesional. Además, es profesor del Máster de Videojuegos de la UCM desde su creación en 2004. Sus intereses de investigación se centran en la enseñanza de la programación (por ejemplo a través de concursos, como ProgramaMe y AdaByron) y en la arquitectura e inteligencia artificial en videojuegos. Es una de las personas detrás del juez en línea *¡Acepta el reto!*



Marco Antonio Gómez Martín es profesor del Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial de la Universidad Complutense de Madrid. Su interés por la calidad de la docencia le ha llevado a participar en distintas conferencias nacionales e internacionales relacionadas con la docencia de la informática y su tesis doctoral giró en torno a videojuegos educativos. En la misma línea, es uno de los creadores del juez en línea *¡Acepta el reto!* cuyo objetivo es ayudar en el aprendizaje de la programación tanto a estudiantes de Ciclos Formativos y universitarios como a personas autodidactas.

Capítulo 8

Prácticas de Formación Flexible y sus Efectos en la Calidad de los Programas de Ingeniería. Caso Universidad Libre Cali- Colombia

Freddy W. Londoño¹, Msc, Fabian Castillo Peña², Msc

Title— Flexible Education Practices and their Effects on the Academic Quality of Engineering Programs. Case Universidad Libre Cali- Colombia

Abstract— One of the approaches to improve the quality of engineering education, goes through the implementation of instruction practices in learning environments. These practices must link problem solving of the context with appropriate actions for the professional future.

This article presents the experience of implementing flexible instruction practices, as part of a curriculum redesign from the systemic thinking and pedagogical constructionism for the professional education of engineers. It's studied through the case of Universidad Libre's engineering programs - Cali Colombia-, the conception, implementation and its effects are presented through the results obtained by the students in the national end-of- career exam from 2013 to 2015.

Keywords-- Pedagogical Flexibility, Instruction Practices, Learning Environments, Academic Quality, Engineering

Abstract— Uno de los enfoques para el mejoramiento de la calidad de la formación de ingenieros, pasa por la implementación de prácticas formativas en ambientes de aprendizaje que vinculen la solución de problemas en contextos de actuación del futuro profesional.

Este artículo presenta la concepción y experiencia de implementación de prácticas de formación flexible como parte de una propuesta de rediseño curricular desde el enfoque sistémico para la formación profesional de ingenieros, estudiando el caso de los programas de ingeniería de la Universidad Libre Cali Colombia. En el

se describe la implementación y sus efectos a través de los resultados obtenidos por los estudiantes de dichos programas en las pruebas nacionales de fin carrera durante el periodo 2013 a 2015

Keywords-- Flexibilidad Pedagógica, Prácticas Formativas, Ambientes de Aprendizaje, Calidad Académica, Ingeniería

I. INTRODUCCION

Se evidencian graves problemas en Latinoamérica por las condiciones de los alumnos que inician sus estudios universitarios [...] las características de la docencia en los primeros años, la situación del alumnado ingresante, las problemáticas de la formación en el nivel secundario de estudios, la orientación profesional y el cursado y la deserción son temas y preocupaciones centrales en el inicio de la formación de ingenieros."

Congreso Mundial de Ingeniería 2010

LA alta deserción de estudiantes en Ingeniería plantea retos a las universidades, en torno a la naturaleza de los procesos de formación profesional y flexibilidad curricular requeridos para generar masa crítica de Ingenieros, destinada a atender los requerimientos de la sociedad. Por ello, para contextualizar una apuesta curricular en Ingeniería Colombia, se requiere reconocer el estado de la misma a nivel nacional.

La *Tabla I* [1] muestra el análisis del Sistema para Prevención de la Deserción en las Instituciones de Educación Superior –SPADIES–, en donde a nivel nacional, en promedio el 56% de los ingenieros desertan durante su proceso de formación.

Si se analiza a nivel nacional el área de ingeniería por Núcleo básico de conocimiento, en 2010, de los 15 tipos de ingenierías reconocidos, la que presenta la más alta deserción es Ing. Sistemas (64%) y Biomédica (54%) y las de menor deserción son Ing. Química (37%) y Arquitectura (41%). tal como se aprecia en la *Tabla II* [1].

En Colombia, seis años después, este problema es aún evidente, cuando la deserción estudiantil en programas tales como Ingeniería de Sistemas, inicia con un preocupante 27% de matriculados que desertan al finalizar su primer semestre y alcanza un alarmante 64,5% de deserción al finalizar la carrera; convirtiendo así, a este programa de formación profesional como el de más alta deserción de la

Este trabajo fue presentado originalmente al XV LACCEI International Conference for Engineering, Education, and Technology (LACCEI 2017)

¹ Freddy W. Londoño, Docente Investigador, Facultad de Ingeniería, Universidad Libre, Santiago de Cali, Colombia, Teléfono: +57 3103966471; E-mail: fredy.w.londono@unilibre.edu.co.

² Fabián Castillo Peña, Docente Investigador, Facultad de Ingeniería, Universidad Libre, Santiago de Cali, Colombia, Teléfono: +57 3117967285; E-mail: fabian.castillo@unilibre.edu.co.

TABLA I
DESERCIÓN POR COHORTE INGENIERÍA, ARQUITECTURA, URBANISMO Y
AFINES. MEN, (2010) Diagnóstico de la deserción en Colombia.

ÁREA DE CONOCIMIENTO	PRIMER SEMESTRE	QUINTO SEMESTRE	DÉCIMO SEMESTRE
INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y AFINES	23,16%	46,13%	55,58%
BELLAS ARTES	19,95%	40,87%	52,50%
ECONOMÍA, ADMÓN. CONTADURÍA Y AFINES	21,37%	41,26%	50,98%
AGRONOMÍA, VETERINARIA Y AFINES	20,00%	41,37%	50,67%
CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN	19,15%	38,23%	47,65%
CIENCIAS BÁSICAS	19,45%	40,22%	46,92%
CIENCIAS SOCIALES Y HUMANAS	18,13%	35,33%	45,41%
CIENCIAS DE LA SALUD	13,92%	29,99%	38,61%

TABLA II
DESERCIÓN POR COHORTE EN LOS PROGRAMAS DE INGENIERÍA,
ARQUITECTURA Y AFINES
Fuente. Datos de SPADIES – MEN.

ÁREA DE CONOCIMIENTO	PRIMER SEMESTRE	QUINTO SEMESTRE	DÉCIMO SEMESTRE
ARQUITECTURA Y AFINES	16,45%	33,66%	41,34%
INGENIERÍA BIOMÉDICA Y AFINES	20,80%	45,29%	54,79%
INGENIERÍA AMBIENTAL, SANITARIA Y AFINES	21,07%	42,00%	53,40%
INGENIERÍA ADMINISTRATIVA Y AFINES	18,67%	43,83%	53,14%
INGENIERÍA AGRÍCOLA, FORESTAL Y AFINES	16,14%	45,76%	54,77%
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL, ALIMENTOS Y AFINES	22,04%	44,21%	52,85%
INGENIERÍA AGRONÓMICA, PECUARIA Y AFINES	19,39%	39,44%	46,66%
INGENIERÍA CIVIL Y AFINES	18,56%	40,42%	49,28%
INGENIERÍA DE MINAS, METALURGIA Y AFINES	18,90%	40,73%	50,71%
INGENIERÍA DE SISTEMAS, TELEMÁTICA Y AFINES	27,36%	55,24%	64,45%
INGENIERÍA ELÉCTRICA Y AFINES	19,71%	42,46%	54,37%
INGENIERÍA ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACION Y AFINES	23,17%	47,02%	56,18%
INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES	19,39%	39,38%	47,57%
INGENIERÍA MECÁNICA Y AFINES	20,14%	44,19%	52,37%
INGENIERÍA QUÍMICA Y AFINES	12,12%	30,40%	37,71%
OTRAS INGENIERÍAS	21,87%	43,51%	49,42%

Nación [2] . Por su parte, en Ingeniería Industrial, a nivel nacional en 2013, la cantidad de matriculados a primer semestre ascendía a 20.446, mientras que los graduados fueron (7.191), lo cual genera una alta deserción a cercana a un 64% (en cohortes diferentes).

II. DISEÑO FORMATIVO PARA INGENIEROS EN COLOMBIA

“Para el caso de las áreas de conocimiento de ingenierías, puede aseverarse que las altas tasas de deserción presentadas se relacionan con las debilidades en las competencias académicas básicas de los estudiantes con respecto a las exigencias de los planes de estudios, aspectos que también explican el bajo porcentaje de graduación hacia el decimocuarto semestre” Estudio de Deserción 2013 MEN-Colombia Aprende

En 2005 El Ministerio de Educación Nacional (MEN), la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI) y el Instituto para Fomento de la Educación Superior (ICFES) desarrollaron documentos para la formulación de estándares que sirven como Marco para la Fundamentación Conceptual y Especificaciones de Pruebas ECAES en ingeniería -hoy denominadas Saber Pro-. Estas son revisadas en 2010 y se genera la Fundamentación

Conceptual y Especificación de la Prueba Saber Pro Ingeniería 2011-2023 [3].

Este examen de Estado de la Educación Superior (Saber Pro) busca comprobar el grado de desarrollo de las competencias en los estudiantes próximos a culminar los programas académicos de pregrado de Ingeniería de las IES. En la *Figura 1* se muestra el marco de Competencias definido para formar un ingeniero.

Si bien, son ampliamente conocidos los lineamientos establecidos por ACOFI para las pruebas SABER PRO que caracterizan los requerimientos de formación de los perfiles y competencias para un ingeniero; Resulta, por otra parte, que no son tan claras las propuestas pedagógicas orientadas a materializar este tipo de perfiles y competencias. Ante tal situación la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, formula el Plan Estratégico ACOFI 2015-2025 con Ejes estratégicos como el 5: *Talento para la ingeniería*.

A. Concepción de la Apuesta de Formación en Ingeniería

“Se requiere incrementar el interés de los jóvenes por los campos de acción de la ingeniería y promover el desarrollo de políticas que fortalezcan las competencias básicas para el acceso, permanencia y culminación exitosa en los programas de ingeniería” Plan Estratégico ACOFI 2015-2025 [4]

La creciente necesidad de formación de ingenieros en Colombia contrasta con su limitada demanda y altas tasas de deserción, las cuales han convocado a las Instituciones de Educación Superior (IES) a explorar nuevas propuestas curriculares y de formación que integren estrategias, modelos educativos y lineamientos pedagógicos acordes con las demandas profesionales del contexto nacional, destinados a mejorar la calidad académica y reducir los altos índices de deserción estudiantil de Ingeniería en Colombia.

La Universidad Libre Cali a través de los autores presenta ante el Congreso Mundial de Educación en Ingeniería WEEF 2013 en Cartagena, *Una Experiencia Curricular Flexible para Formación de Ingenieros de Sistemas en la Universidad Libre Cali* y en la 11th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology Cancún 2013 *Un Modelo Curricular Flexible desde el Enfoque Sistemico para la Formacion en Ingenieria de Sistemas*, Experiencias que se han venido implementando gradualmente desde 2010, con el fin de reducir los niveles de deserción y fomentar el mejoramiento

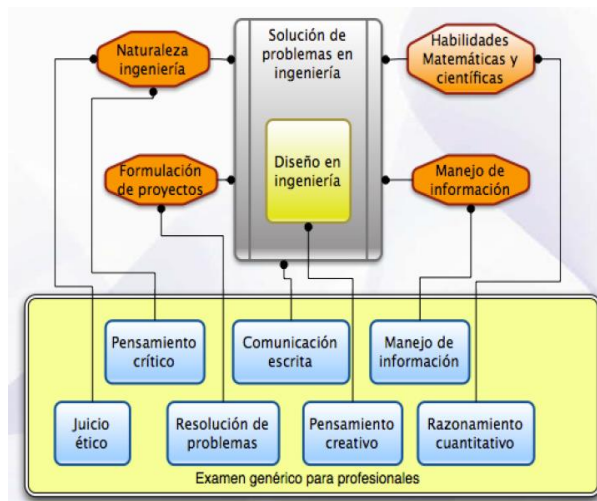


Fig. 1. fundamentación conceptual y especificaciones de la prueba saber pro ingeniería 2011 – 2023 de acofi

de la calidad académica. Este artículo caracteriza, y describe aspectos de la forma de operación de dicha propuesta.

Desde su fundamentación teórica, la Facultad, evidencia que la ingeniería vela por la relación entre ciencia, tecnología y desarrollo, por lo tanto, para formar Ingenieros, se requiere de la interacción entre formación e investigación. Una de las vías para lograrlo es garantizar una estrecha relación entre: la educación como proceso de aprendizaje, la investigación como proceso de generación de conocimiento, la Ingeniería como ordenadora de la transformación, las organizaciones como operadoras de cambio y la sociedad como sentido y destino de la transformación.

Para atender al sentido de formación expuesto, se presenta un modelo de formación en espiral a través de procesos interdisciplinarios que se generan en ambientes de aprendizaje para programas de Ingeniería en la sociedad del conocimiento. La propuesta cuenta con cinco niveles de abstracción, como se aprecia en la Figura 2 [5], que atienden a propósitos de formación pertinentes para un ingeniero.

Un primer nivel consiste en la formación del estudiante para la potenciación de sus competencias y la generación de aprendizajes significativos a través de espacios de construcción en los que se busca, no solo presentar la racionalidad operativa y funcional, sino materializarla en escenarios, que evidencien los fundamentos socio-humanísticos, científicos y tecnológicos de su formación, sustentado en los principios filosóficos de la Universidad Libre Colombia.

El segundo nivel, es el de formación en ciencias básicas y ciencias socio-humanísticas para describir, diseñar, modificar, desarrollar, controlar y gestionar modelos y sistemas transdisciplinarios que favorezcan el desarrollo científico, tecnológico y social.

En el tercer nivel se requiere la estructuración en el estudiante de un pensamiento sistémico en procesos de Ingeniería para la apropiación de conocimientos, conceptos y representaciones de la organización y sus transformaciones a través de estructuras que le permitan el diseño e implantación de procesos, productos y sistemas.

En el cuarto nivel se requiere el conocimiento de modelos, metodologías y técnicas que le permitan la generación de planes, proyectos y programas en ingeniería para el diseño, planeación, instalación, gestión, mejoramiento, optimización, calidad y control de sistemas de producción de bienes y servicios en organizaciones y en

sistemas complejos conformados por personas, materiales, equipo, recursos financieros y/o energía.

Finalmente un quinto nivel implica la transferencia y aplicación de las competencias adquiridas en contextos laborales y socio-culturales específicos, desde una dimensión creadora -no solo interpretativa o argumentativa- por medio de la innovación en equipos interdisciplinarios que permitan la integración de soluciones innovadoras de bienes, procesos, productos o servicios en entornos organizacionales destinados a garantizar su transferencia, asimilación y uso en beneficio de la comunidad, la región y el país.

Como se aprecia, si bien se plantean unos supuestos epistémicos, formativos y disciplinares que caracterizan estos propósitos, surge entonces la necesidad de una apuesta formativa que materialice este tipo de ingenieros.

B. Hacia un Modelo de Formación en Ingeniería: el Caso de la Universidad Libre Cali.

Para suscitar un mayor interés y lograr un incremento del número de estudiantes, la ingeniería tiene que innovar y transformarse. [...] Es preciso adoptar nuevos enfoques en la enseñanza y la formación, especialmente en lo que se refiere a la instrucción práctica y al aprendizaje basado en el planteamiento de problemas, que refleje la naturaleza misma de la ingeniería: resolver problemas” [6] Tony Marjoram. UNESCO

En 2009, la facultad de ingeniería de la ULC, ante las problemáticas de deserción y rendimiento académico, aborda la pregunta del contexto educativo sobre ¿Cómo convertir un sistema de contenidos tradicional (organización de la información) en un sistema de aprendizaje (organización cognitiva del conocimiento)?

Un punto de partida, surgió en la revisión de corrientes contemporáneas de la cognición como el conexionismo, el asociacionismo, el constructivismo y el construccionismo que están intrínsecamente ligadas con la tecnología y la ingeniería, así como con los procesos de aprendizaje, por ello, el potencial de la ingeniería mediada en procesos formativos, se aprecia en la “Ingeniería de Aprendizaje” de Avanzini [7] y en la Representación de Andy Clark quienes plantean para los procesos de formación que “Tenemos la Capacidad de aprender interiormente... un aprendizaje que no solo depende de una enseñanza continua, laboriosa y repetitiva sino que está en nosotros en cuanto contemplamos una representación simbólica adecuada del conocimiento... ¿Por qué escribimos, hacemos una pintura o un esquema? Lo hacemos porque volviendo a representar la información en otro formato la hacemos comprensible para una capacidad cognitiva o propósito determinado” [8].

El modelo de formación propuesto entonces por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Libre Cali se sustenta en un enfoque construccionista (Papert), soportado por ambientes de aprendizaje enfocados en la resolución de problemas sociales, empleando los conceptos, métodos y técnicas de la Ingeniería.

Por qué construccionista?, puesto que se caracteriza por orientar la formación a construir activamente el conocimiento, tanto por parte de los maestros como de los estudiantes, materializado sobre saberes básicos elaborados, los cuales, puestos en escena por medio de interacciones entre los actores en ambientes de enseñanza-aprendizaje,



Fig. 2. Modelo de Formación en Ingeniería -Vista Frontal- del Proyecto Educativo de la facultad.

se evidencian a través de competencias que permitan verificar los niveles de cambio conceptual acaecidos mediante la interacción estudiante-maestro-tecnología-saber. El enfoque le permite al estudiante construir conocimientos, entender situaciones y plantear alternativas de solución a problemas.

¿Por qué en ambientes de aprendizaje? en un contexto construccionista las relaciones enseñanza-aprendizaje en la formación de ingenieros se materializan en ambientes de aprendizaje; por ende, un ambiente de aprendizaje requiere de escenarios interactivos que permitan al estudiante la construcción de sus propias circunstancias. “Lo que cada cual está en capacidad de aprender no depende sólo de su desarrollo intelectual, comprendido desde la psicología del desarrollo; depende también de su familiaridad con el lenguaje, los sistemas, la comunicación y con los contenidos educativos ubicados dentro de un contexto que sea afín con los problemas y formas de interacción de su cotidianidad y los problemas y formas de interacción propios de la institución en la que se forma” [9]

¿Por qué enfocado en solución de problemas sociales? El problema a resolver convoca actividades de aprendizaje de significación de conceptos y desarrollo de competencias, como “proceso mediante el cual la situación incierta es clarificada, en mayor o menor medida, implica la aplicación de conocimientos y procedimientos por parte del solucionador así como la reorganización de la información almacenada en la estructura cognitiva o sea, un aprendizaje” [10]

Por ende, la propuesta construccionista que posibilite este tipo de aprendizaje en ingeniería, implica el diseño de ambientes de aprendizaje, en los cuales se generan relaciones, y prácticas pedagógicas que permitan la aplicación de metodologías activas orientadas a la resolución de problemas desde los fundamentos teóricos y metodológicos de la ingeniería y las ciencias.

Como se aprecia la discusión no busca cerrarse en un análisis o una síntesis de conceptos sobre los propósitos de formación de los ingenieros, sino en la materialización de los aspectos necesarios para la generación de ambientes de aprendizaje que fomenten los propósitos, perfiles y competencias requeridos por ellos.

En tal sentido, El diseño curricular para un programa de Ingeniería coherente con el modelo expuesto, para la Facultad de Ingeniería de la Universidad Libre Cali implica, entonces, un tejido que organiza, articula, dinamiza y materializa el currículo, a través de cuatro formas fundantes de flexibilidad curricular: las formas de organización del currículo que lo regulan, las formas de articulación que los integran, las formas de interacción que lo dinamizan y las formas de materialización que movilizan lo contenido. Estas formas presentadas en la Figura 3, son explicadas en la propuesta presentada en LACCEI, 2013 [11] y (WEEF, 2013) [12].

En cuanto a la ejecución de dicha apuesta curricular, esta se materializa a través de unas formas de Interacción que se expresan en prácticas formativas coherentes con la propuesta pedagógica expuesta.

III. METODOLOGIA. AMBIENTES DE APRENDIZAJE BASADOS EN CONTEXTOS -ABC-

“Buscar que el Sistema de formación de Capital Humano (SFCH) responda de manera pertinente a las necesidades de la sociedad

del conocimiento, las diferencias del contexto y los retos actuales, demanda una formación que considere los estudiantes como sujetos activos y centro de acción educativa. Una educación de calidad centrada en el desarrollo de competencias exige incidir en la transformación de las prácticas pedagógicas de los docentes con el fin de que los estudiantes mejoren sus conocimientos sobre la forma de tratar una situación de aprendizaje; es una educación rigurosa en el planteamiento de los problemas pedagógicos; que potencia las capacidades de los estudiantes para relacionar datos, fuentes de información, transferir sus aprendizajes a situaciones nuevas; que estructura los contenidos de acuerdo con las características de la población que se educa, es decir, que hace propuestas educativas flexibles y retadoras en relación con las problemáticas globales”.

Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014. [13] Pág. 86.

En este modelo las formas de interacción corresponden a las dinámicas formativas que dan vida a la estructura curricular del programa de ingeniería, las cuales se materializan a través de las estrategias pedagógicas de los docentes y de los contextos de formación de los estudiantes.

Por ello, la facultad considera un ambiente de aprendizaje en ingeniería como un entorno en el cual se incorpora un conjunto de estrategias formativas, contextos de aprendizaje y vínculos que materializan las relaciones entre los actores del proceso formativo, articulados para la resolución de problemas de la ingeniería. Un ambiente caracterizado por la disposición de elementos que habilitan al estudiante para explorar y, consecuentemente, construir.

Teniendo como base la Figura 4, los ambientes de aprendizaje construccionistas caracterizados por la facultad de ingeniería [5], promueven, metodologías dinámicas entre docentes y estudiantes orientada a fomentar su participación activa y crítica para que construyan conocimiento, a través de la solución de problemas y el trabajo en equipo.

A. Prácticas Formativas en Ingeniería de la ULC. la Mediación Pedagógica: Constructos

La propuesta pedagógica de la Facultad partió entonces, por reconocer, que los ambientes de aprendizaje para la formación en ingeniería requieren de una organización pedagógica (propósitos de formación, contenidos y secuencia); unas acciones educativas didácticas

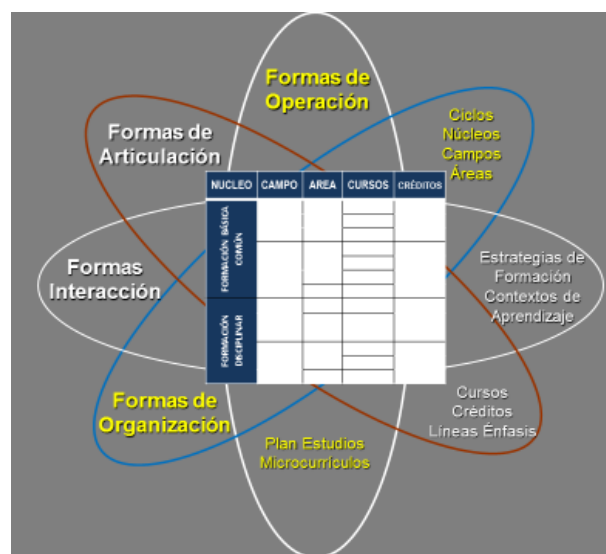


Fig. 3. Diseño Curricular para la Facultad de Ingeniería presentado por los Autores en Congreso Mundial de Educación en Ingeniería WEEF 2013 [12]

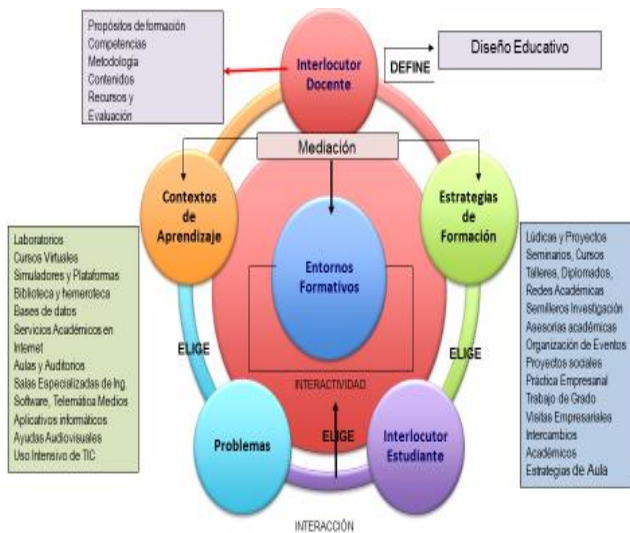


Fig. 4. Ambientes de Aprendizaje Construccionalista presentes en el Proyecto Educativo de la Facultad de Ingeniería de la ULC

(metodología, recursos y evaluación) (Julián de Zubiría) orientadas a la potenciación de competencias (Tobón) y el aprendizaje significativo del estudiante (Ausubel).

La Flexibilidad metodológica de las estrategias pedagógicas en la mediación, es uno de los principales aspectos de flexibilidad curricular que permiten la adecuada implementación del modelo pedagógico constructorista. es así que, nuestros profesores mediante procesos pedagógicos constructoristas y estrategias de formación activas para la resolución de problemas, generan condiciones que propician el aprendizaje, la investigación y el desarrollo de competencias generales y específicas del estudiante orientadas al ejercicio profesional de la ingeniería.

En tal sentido, la formulación un ambiente de aprendizaje implica el desarrollo de estrategias de formación y contextos de aprendizaje a través de la distribución y organización de las actividades de formación por créditos académicos que cursa el estudiante (obligatorios, electivos, optativos).

El sistema de aprendizaje del estudiante se enfoca en el diseño de un ambiente de aprendizaje constructivista desde el abordaje de una fundamentación teórica orientada a la resolución de problemáticas detectadas en su entorno, la cual en la práctica se expresa en el abordaje de los conceptos que fundamentan la temática, la identificación de los problemas del contexto que impliquen la aplicación de dichos conceptos, y la aplicación de las metodologías necesarias para lograr las soluciones. Empleando mediaciones y entornos como CDIO, GEIO, Fablab, Mymathlab, Virtual Plant, Mindstorm, Fischer Technik o Cool Tool.

Dado que la formación por competencias se desarrolla a través de créditos académicos que requieren de ambientes de aprendizaje y espacios de acompañamiento con alta responsabilidad de estudiantes y de docentes, así como un porcentaje elevado de trabajo independiente del estudiante; el proceso es orientado, acompañado y retroalimentado por medio de diversas *Estrategias Pedagógicas*, *Contextos de Aprendizaje*, y *los medios educativos* para lograrlo.

Estrategias de Formación: Hacen referencia, no al que enseñar, ni el cuándo enseñar, sino el cómo enseñar. Son el punto de encuentro entre docentes, currículo y estudiantes. Es por ello que la Facultad emplea diversas estrategias para lograrlo (se reconoce que no existe una mejor que otra en

términos absolutos, y que el uso de las estrategias depende de la situación pedagógica concreta en la que se deseen aplicar).

Una estrategia es más adecuada, cuanto más se ajusta a las necesidades y formas de aprender del estudiante, esto hace que la Facultad de Ingeniería consciente de dichas necesidades emplee diversas estrategias de formación acordes con los requerimientos del modelo pedagógico constructorista que emplea el Programa. Para el caso de la Universidad Libre de Cali se han caracterizado estrategias tales como:

Estrategias Pedagógicas Directas. (Sesión Magistral, Exposición, Mapa Conceptual, Recorrido Guiado, Foro, Debates, Demostración, Talleres, Análisis de Caso, Cursos online, Simuladores, Proyectos Integradores).

Estrategias de Acompañamiento. Asesorías académicas, Trabajo Preparatorio, Trabajo Colaborativo, Prácticas de Laboratorio, Cursos Optativos, Redes Académicas, Formación investigativa, Proyección Social, Práctica Empresarial

Estrategias Colaborativas y Autoaprendizaje. Equipos de Trabajo, Proyectos Integradores, Semilleros de Investigación, Opción de Grado, Diplomados, Simposios, Proyectos sociales, Práctica Empresarial, Trabajo de Grado, presentación de ponencias, escritura de artículos.

Estrategias complementarias y de refuerzo en la labor académica. Certificación Internacional, Seminarios, Cursos Optativos, Organización de Eventos, Capítulos Estudiantiles, Workshops, Asistencia a Eventos, Intercambios Académicos, Visitas Empresariales, Salidas de Campo

Contextos de Aprendizaje: Conforman los espacios y escenarios formativos que posibilitan las relaciones pedagógicas necesarias para desarrollar las competencias de la Ingeniería, tales como: las aulas de clase, los laboratorios físicos, simuladores virtuales, Cursos en línea, las Plataformas, Biblioteca, hemeroteca, Bases de datos, Servicios Académicos en Internet, Aulas y Auditorios, Salas Especializadas para Ingeniería, Redes Telemáticas, Multimedia, Aplicativos informáticos, Ayudas Audiovisuales y Talleres.

- *Físicos:* Laboratorios Físicos, Biblioteca, Aulas, Auditorios, Audiovisuales, Empresas y Sitios de Práctica.
- *Digitales:* Laboratorios virtuales, Simuladores, Redes, Plataformas, Bases de datos, Aplicativos informáticos, Uso de TIC, Servicios Académicos en Internet, Cursos Virtuales.

En Cuanto a la forma general de la mediación pedagógica del proceso formativo se emplea la denominada *Constructos* (ver figura 5). en donde, el tiempo se divide en 4 momentos. El Primero es el *momento pedagógico directo* como espacio formal presencial en donde a través de estrategias pedagógicas de aula se abordan los conceptos teóricos fundantes y se formulan los problemas a resolver, luego se adelanta un *segundo momento de acompañamiento* (la asesoría individual o grupal) en contextos de aprendizaje ya descritos (plataformas, talleres, salas de cómputo, laboratorios, visitas industriales, etc.), se operacionalizan los conceptos vistos y abordan elementos metodológicos para resolver problemas; en el *tercer momento de formación en Equipo y Autoaprendizaje*, los estudiantes abordan la resolución de los problemas presentados a través de las

estrategias ya descritas de forma independiente. Finalmente, en un *momento complementario y de refuerzo*, se amplía y consolida el espectro de formación del estudiante.

En ingeniería para la estructuración del programa analítico de cada curso, se definió el crédito académico como unidad de medida de las actividades del proceso enseñanza – aprendizaje equivalente a 48 horas de trabajo del estudiante, en una relación 1:2, es decir se considera que una hora de trabajo presencial docente-estudiante se correlacionará con 2 horas de trabajo independiente por parte del estudiante.

En este sentido se emplean *Créditos Obligatorios* para valorar la actividad académica de los estudiantes en relación con los espacios de saber esenciales para la formación profesional básica del futuro ingeniero. Forman parte del objeto de estudio y permiten materializar los propósitos de formación fundantes.

En cuanto a los *Créditos Electivos*, valoran la actividad académica de los estudiantes en relación con los énfasis y las líneas de profundización del programa; representan una complementariedad en los campos socio-humanísticos y profundización en el campo disciplinar del ingeniero.

Finalmente los *Créditos Optativos* valoran la actividad académica de los estudiantes en saberes que amplifican y potencian su desempeño y actualización. La aplicación de la ingeniería en contextos interdisciplinarios implica mayores niveles de abstracción, lo cual demanda tomar créditos opcionales para consolidar dichos abordajes.

Como se aprecia, con esta mediación pedagógica se busca que los estudiantes y docentes empleen caminos algorítmicos y estructurados para la solución del problema o caminos heurísticos, abiertos y creativos para potenciar sus ideas y representaciones hacia las operaciones mentales requeridas para construir la solución requerida.

IV. RESULTADOS. EFECTOS EN LA CALIDAD ACADÉMICA

Anualmente el Estado Colombiano adelanta las pruebas de evaluación de los aprendizajes bajo el enfoque de formación por competencias y evaluación de desempeños de los estudiantes en últimos semestres de programas de formación profesional, denominadas SABER PRO.

Las competencias alcanzadas no siempre son evidentes en el desarrollo conceptual de la formación de ingenieros,



Fig. 5. Mediación Pedagógica Constructo

cuando se conciben solo contenidos que se instrumentan a través de un aprendizaje mecanicista, dado que, dicho enfoque no habilita necesariamente a los estudiantes para desarrollar competencias sobre los sentidos, modos y usos de la ingeniería en la sociedad.

Por ello las pruebas nacionales se convierten en un indicador de la evolución en la formación universitaria de los ingenieros. En tal sentido un análisis de los últimos tres años muestra una curva estable en cantidad de estudiantes, y una disminución en el porcentaje de deserción en ingeniería.

De manera particular en el sistema de prevención y análisis de la deserción en las instituciones de educación superior SPADIES, en la *Tabla III* muestra altas tasas de deserción en los programas de Ingeniería en el Valle del Cauca que están por encima de la media nacional.

Estas cifras nos muestran que en el mejor de los escenarios a nivel nacional abandonan la carrera el 50% de los estudiantes y a nivel del departamento del Valle el 55%.

En este sentido, la Universidad Libre ha venido dando pasos con sus procesos de formación y asesoría académica, los cuales se ven reflejados en menores índices de deserción en relación con otras universidades de la región (bajando del 55% promedio al 42% en el último quinquenio), tal como se aprecia en la *figura 6*.

En cuanto a los resultados académicos de las pruebas de fin de carrera -Saber Pro- correspondientes a los últimos tres años, Ingeniería de la Universidad Libre Cali, evidencian incrementos sostenidos cercanos al 12% en el promedio de puntajes obtenidos en el último trienio [14], pasando desde valores cercanos a la media nacional de 10,1 a valores superiores a los 11 puntos en el trienio 2013-2015 [15].

Las *figuras 7 y 8* muestran el comportamiento de 2013 a 2015 en cada una de las cinco áreas generales evaluadas; se destaca la evolución en las competencias de Inglés, Lectura Crítica y Razonamiento Cuantitativo. Así mismo, en la *figura 9*, se aprecia la evolución de los puntajes de la facultad de ingeniería de la ULC, en relación con la media nacional, la cual, le ha permitido ascender -entre las 177 IES que ofrecen Ing. de Sistemas en Colombia- del puesto 57 al puesto 14 en los últimos tres años.

Finalmente a nivel institucional el *Estudio de Impacto en el Medio y Seguimiento a Egresados del Programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Libre Cali*. ratifica la percepción que los egresados tienen frente al mejoramiento del programa. En donde, ante la pregunta de ¿cómo valora la calidad del programa de Ingeniería de

TABLA III
TASA DE DESERCIÓN ACUMULADA EN DECIMO SEMESTRE POR ÁREA DE CONOCIMIENTO

ÁREA DE CONOCIMIENTO	TOTAL NACIÓN	CAUCA	NARIÑO	VALLE DEL CAUCA
INGENIERÍA, ARQUITECTURA, URBANISMO Y AFINES	50,40%	48,60%	48,90%	54,90%
BELLAS ARTES	43,50%	52,60%	60,40%	51,50%
AGRONOMÍA, VETERINARIA Y AFINES	47,20%	42,60%	36,20%	51,40%
ECONOMÍA, ADMINISTRACIÓN, CONTADURÍA Y AFIN	46,30%	48,20%	43,90%	49,30%
MATEMÁTICAS Y CIENCIAS NATURALES	49,20%	66,70%	62,40%	58,00%
CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN	46,80%	54,50%	45,10%	51,30%
CIENCIAS SOCIALES Y HUMANAS	44,80%	36,80%	33,80%	48,90%
CIENCIAS DE LA SALUD	39,60%	33,40%	26,90%	48,40%

Sistemas?, los egresados pasaron de responder en 2011 con una calificación promedio de 3,94 a 4,26 en 2015 [16]. Esta pregunta, como final de una serie de cuestionamientos transversales, permite establecer que la calidad del programa académico está siendo bien valorada por sus egresados.

V. CONCLUSIONES

Los efectos de esta propuesta curricular e implementación pedagógica se evidencian en los resultados obtenidos por los egresados de los programas de ingeniería de la ULC, los cuales han permitido contar en los últimos 2 años con estudiantes entre los mejores resultados de las pruebas Saber Pro a nivel nacional y particularmente con el mejor puntaje en ingeniería de sistemas del país, alcanzado por uno de nuestros estudiantes en el 2015.

Se hace necesario que la Universidad continúe formando Ingenieros desde ambientes de aprendizaje para la solución de problemas a través del desarrollo de conocimientos, habilidades y destrezas en los estudiantes y su aplicación en el diseño e implementación de soluciones para la sociedad.

Es fundamental fortalecer aún más el modelo de formación tanto en los docentes como en los estudiantes de Ingeniería para consolidar la innovación permanente en

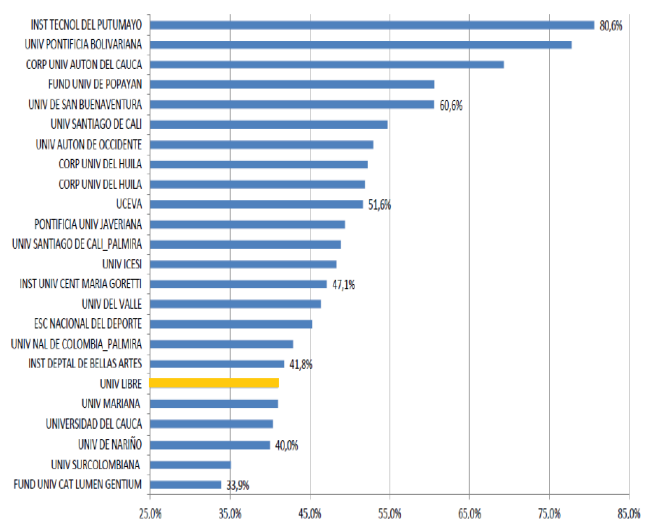


Fig. 6. Tasa de Deserción Acumulada en Decimo Semestre en Universidades de la región Suroccidente. Fuente. Ministerio de Educación.

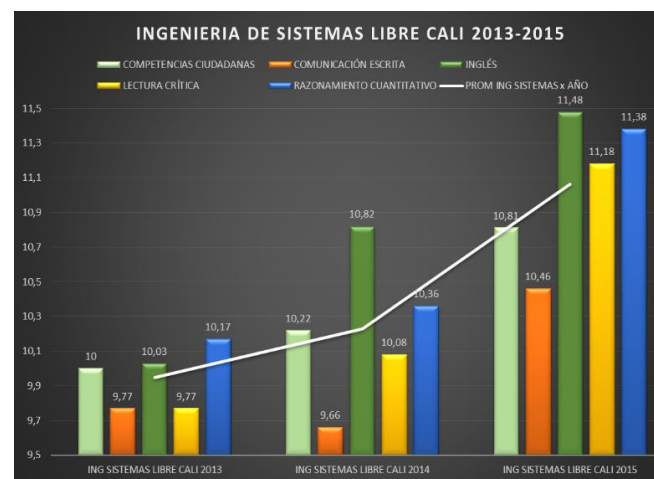


Fig. 7. Evolución de resultados Saber Pro por Área de Conocimiento en Ingeniería para la Universidad Libre 2013-2015, datos suministrados ICFES

sistemas de formación para el mejoramiento de los procesos de aprendizaje, así como de los productos derivados de los mismos como factor de desarrollo del programa.

Este panorama muestra una nueva oportunidad para las Facultad que ha llevado a cabo procesos de calidad y competitividad, pero que requieren mejorar las condiciones de retención del 42% de nuestros estudiantes, que aun desertan en el proceso de formación, y del mejoramiento de las competencias de un profesional de la Ingeniería.

REFERENCIAS

- [1] SPADIES, «Estudio de Deserción en 2013 con Estadísticas del SACES,» MEN Colombia Aprende, [En línea]. Available: <http://www.colombiaprende.edu.co/html/micrositios/1752/w3-article-343426.html>. [Último acceso: 27 01 2015].
- [2] MEN, «Diagnóstico de la deserción en Colombia,» Revista de Educación Superior Ministerio de Educación Nacional., vol. 2010, n° No 14, pp. Pag 9-10, 2010.
- [3] ICFES-ACOFI, «ECAES para Ingeniería 2011-2023,» Convenio 440 , Bogota, 2009.
- [4] ACOFI, Plan Estratégico ACOFI 2015-2024, Bogotá: Asociación colombiana de Facultades de Ingeniería, 2015.
- [5] Universidad Libre Cali, «Proyecto Educativo Facultad de Ingeniería,» ULC, Cali, 2013.
- [6] UNESCO, «Engineering: Issues Challenges and Opportunities for Development,» ONU, Francia, 2010.
- [7] G. AVANZINI, La Pedagogía Hoy, Mexico: Fondo de Cultura Económica , 1998.
- [8] J. Parra, Los Computadores en la nueva visión educativa, Cali: Javeriana, 1999.
- [9] J. I. POZO, Teorías Cognitivas del Aprendizaje., Pág. 44: Edit Morata. , 1999.
- [10] J. D. Novak, Theory of Education, Miami: Cornell University Press, 1977.

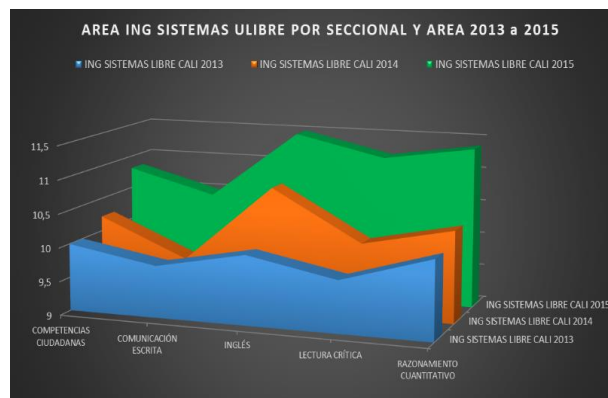


Fig. 8. Evolución de los puntajes por Área en Ingeniería Universidad Libre Cali 2013 a 2015, elaborada con datos suministrados por el ICFES

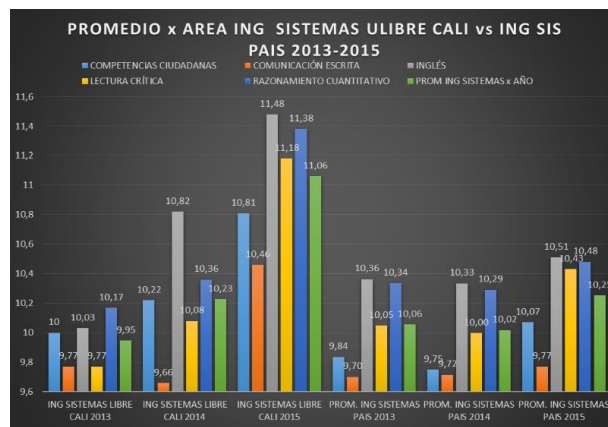


Fig. 9. Puntajes Promedio Ingeniería Univ Libre vs País 2013-2015 Elaboración con datos Suministrados por ICFES

- [11] F. C. F. Londoño, «Un Modelo Curricular Flexible desde el Enfoque Sistémico para la Formación en Ingeniería de Sistemas en Colombia,» de Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology LACCEI 2013, Cancun, 2013.
- [12] F. C. F. Londoño, «Una Experiencia Curricular Flexible para la Formación de Ingenieros de Sistemas en la Universidad Libre Cali,» de WEEF 2013 World Engineering Education Forum, Cartagena, 2013.
- [13] DNP Departamento Nacional de Planeación, Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014., Bogota: Presidencia de la República., 2010 Pág. 64..
- [14] Icfes Interactivo, «Resultados Pruebas Saber Pro,» ICFES, 2011. [En línea]. [Último acceso: 11 2016].
- [15] SNIES, «Sistema Nacional de Información de la Educación Superior,» Ministerio de Educación Nacional, 15 10 2016. [En línea]. Available: <http://www.mineduacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/w3-propertyname-2672.html>. [Último acceso: 15 10 2016].
- [16] Universidad Libre Seccional Cali, «Estudio de Impacto en el Medio y Seguimiento a Egresados del Programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Libre Cali,» ULC, Cali, 2016.



Fabián Castillo Peña Ingeniero de Sistemas, Especialista en Auditoría de Sistemas, Magister en Educación y con Estudios de Doctorado en Educación, Auditor Líder (ISO 27001:2013), Auditor Interno en Sistemas de Gestión Integral QHSE (ISO 9001: 2008, ISO 14001: 2004, OHSAS 18001: 2007 e ISO 19011:2012), Auditor Interno (ISO 9001:2008).

Docente Universitario. Ha sido Director de Programas de Ingeniería, Líder de los grupos

de Investigación SINERGIA UNO (Desarrollo de Software, Didáctica en la enseñanza de la Ingeniería e Informática Educativa) y GITEI (Seguridad en las tecnologías de la información, Auditoría y Telemática), Presidente de la Red de Programas de Ingeniería de Sistemas y Afines REDIS Nodo Sur Occidente, Presidente y Coordinador Académico de la Asociación Red Universitaria de Alta Velocidad del Valle del Cauca RUAV, Coordinador Académico de la Asociación de Usuarios de Oracle de Colombia ASUOC, Miembro del Comité Académico de la Red Iberoamericana de Informática Educativa RIBIE Colombia y de la Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada – RENATA.

Ha escrito diversas ponencias y adelantado proyectos en las áreas de Arquitectura de Redes, Software, Seguridad de la Información, Educación, Emprendimiento e Innovación Social.



Freddy Wilson Londoño. Medellín (1964), Ingeniero en Informática de la Universidad Católica de Manizales (2001), Magíster en Educación de la misma Universidad (2009), Candidato a Doctor en Educación de la Universidad de la Salle en Costa Rica

Desde 2004 Docente-Investigador de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Libre Seccional Cali, Par Académico Nacional del Sistema de Ciencia y Tecnología de Colciencias y del Ministerio Nacional de Educación. Experiencia en

investigación y docencia universitaria en el área de ingeniería, tecnología y educación. Investigador del Futuro Colciencias 1998, Investigador en la Línea de Informática Educativa del grupo Sinergia Uno de Colciencias, ha adelantado diversos proyectos de investigación y desarrollo en Educación mediada por Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) financiados, entre otros, por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Colciencias, Ministerio de Educación, Fundación Carvajal e Infimanizales.

Autor del libro *Una Apuesta de Formación Contemporánea con TIC*, cinco artículos indexados y más de quince ponencias en Eventos Nacionales e Internacionales. Coautor de la Maestría en Informática Educativa de la Universidad Libre Cali.

Capítulo 9

Retos, Tendencias y Prácticas Pedagógicas que Aportan a la Innovación en el Aprendizaje en la Educación Superior en Ingeniería

María Paula Millán, Lizeth Serrano, Edna Bravo

Title— Challenges, trends and teaching practices that contribute to innovative learning in engineering higher education

Abstract— Educational innovation is the determining factor to achieve change and improvement in the educational structure of countries, therefore, it is necessary to reflect on the role that this topic can play in this process and how it can be integrated into social, political and economic challenges confronted by nations. In this context, this research aims to identify the elements to innovate in the learning experience of engineering: analyzing the challenges, trends and pedagogical practices on the topic through a systematic review of literature. This review was based on the analysis of 112 articles selected according to inclusion and exclusion criteria established in the research protocol. As a result, a theoretical instrument is proposed that conceptually articulates the results of the constituent elements of innovation mentioned above.

Keywords— Challenges, trends, teaching practices, Higher Education.

Abstract— La innovación educativa, se constituye en el rasgo distintivo del cambio y mejoramiento de la estructura educativa de los países, por ello, es necesario reflexionar sobre la función que esta puede cumplir en dicho proceso y de cómo a través de la misma se pueden abordar los retos social, económicos y políticos que enfrentan las naciones. En este contexto, esta investigación tiene como propósito la identificación de los elementos constitutivos para innovar en la experiencia de aprendizaje de la ingeniería: analizando los retos, las tendencias y las prácticas pedagógicas sobre el tópico a través de una revisión sistemática de literatura. Esta revisión se fundamentó en el análisis de 112 artículos

seleccionados de acuerdo a criterios de inclusión y exclusión establecidos en el protocolo de investigación. Como resultado del estudio, se propone un instrumento teórico que articula conceptualmente los resultados de los elementos constitutivos de la innovación antes mencionados.

Keywords— Retos, Tendencias, Prácticas pedagógicas, Educación Superior.

I. INTRODUCCIÓN

La innovación educativa es un tópico que ha generado debate en relación con las estrategias de desarrollo de los sistemas educativos y las transformaciones necesarias para disminuir el desfase, entre las habilidades enseñadas y las requeridas por el contexto en que la sociedad se desenvuelve. En un contexto globalizado, la demanda de la población por desarrollar cambios dinámicos representa una variable en aumento, por ello, la educación como un área social, debe estar comprometida a innovar para responder a dichos cambios. En consecuencia, el análisis de retos, tendencias educativas y prácticas pedagógicas, se constituyen como el fundamento para la generación de innovación; sin embargo, existe la necesidad de profundizar en la articulación de estos conceptos como fuente de ideas, para que los mismos se adapten a las necesidades de las instituciones de educación superior (IES) en términos de formación, planes curriculares, gestión institucional, docencia, entre otros.

Asimismo, es necesario tener en cuenta que, en las IES, el proceso de enseñanza-aprendizaje también se encuentra influenciado por factores como la economía, la demanda de nuevas competencias en el mercado laboral y la inmersión acelerada de las tecnologías de la información y la comunicación [1]. Dichos factores, evidencian la necesidad de impulsar transformaciones que logren procesos de educación significativos para la población estudiantil a la vez

Este trabajo fue presentado originalmente en el “15th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI 2017)”.

MP. M es Ingeniera Industrial de la Universidad Industrial de Santander (e-mail: mapumillan@gmail.com)

L.S es Ingeniera Industrial de la Universidad Industrial de Santander, Magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad Industrial de Santander y Estudiante de segundo año de Doctorado en Modelado en Política y Gestión Pública de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Es Docente Investigadora de

la Universidad Católica de Colombia (teléfono: +573015244818; email: lfserranoc@ucatolica.edu.co).

E.B es Ingeniera Industrial de la Universidad Católica de Colombia, Magíster en Innovación Docente de la Universidad Politécnica de Cataluña y Doctora en Administración de Empresas de la Universidad Politécnica de Cataluña. Es Docente-Investigadora de la Universidad Industrial de Santander (email: erbravoi@uis.edu.co).

que se aporta a enfrentar problemáticas como: los elevados costos para la obtención de un título profesional, la pertinencia de la educación impartida [2] y la aplicación de sistemas de evaluación incluyentes [3].

Estas transformaciones deben responder al contexto educativo, en donde los cambios acelerados de la globalización, como la evolución de la tecnología en la sociedad se presentan como los nuevos retos de los principales agentes involucrados en la enseñanza-aprendizaje (administrativos, docentes y estudiantes). Por lo cual, el proceso de innovación, en materia educativa, se convierte en un determinante para lograr que los estudiantes sean capaces de integrarse y generar soluciones propositivas frente a las problemáticas del contexto en las que se desenvuelven.

Considerando las justificaciones anteriores, esta investigación se orienta a identificar los elementos constitutivos para la innovación de las experiencias de aprendizaje con el fin de alcanzar una articulación entre ellas, desarrollando un “instrumento teórico” que facilite la generación de estrategias que cambien las metodologías de enseñanza tradicionales y aproveche todas las formas de aprendizaje (formal, no formal e informal) [4], con el propósito de incentivar y retar a los estudiantes a plantear nuevos cuestionamientos.

II. CONTEXTO DE LA INNOVACIÓN EDUCATIVA

En los años 70's, gracias a las apreciaciones realizadas por la Organización de las Naciones Unidas en “el tiempo de la innovación en materia de educación” [5], el término innovación educativa comenzó a naturalizarse como eje fundamental del desarrollo social. Autores como, Huberman [6] y Havelock [7] lo sustentan a través de sus escritos: “cómo se realizan los cambios en la educación: una contribución al estudio de la innovación” e “innovación y problemas de la educación: Teoría y realidad en los países de desarrollo”. Con el nacimiento del término, éste se integró dentro de discursos educativos y con ello, a distintos campos, como son la política educativa, la práctica profesional, la formación docente y la gestión institucional.

Barraza [8] a través de una conceptualización comprensiva, afirma que la innovación educativa es “un proceso que involucra la selección, organización y utilización creativa de elementos vinculados a la gestión institucional, la metodología y la enseñanza, con el fin de dar respuesta a una necesidad de formación integral”. Sin embargo, para generar innovación en la educación superior y en la cultura institucional, la gestión del conocimiento se convierte en un pilar fundamental que genera cambios. Por lo cual, admite que el mayor problema en la innovación, es la persistente dificultad en saber cómo producir cambios, entender por qué son necesarios los cambios y con ello, definir qué retos involucra llevarlos a cabo y quién puede promoverlos y apoyarlos al interior de las instituciones.

Innovar en la educación, especialmente en el proceso de enseñanza-aprendizaje requiere la exploración de experiencias innovadoras, experiencias institucionales y cambios contextuales. En consecuencia, es la institución superior quien debe ser apoyo y soporte de la enseñanza para decidir, direccionar, gestionar y financiar procesos hacia dicha innovación; definiendo modelos de estructuración metodológica y de evaluación para lograr instrumentos y

medios para la educación [9]. No obstante, el proceso de innovación no solo converge en las instituciones educativas, sino en reconocer que existen agentes externos que definen la magnitud de los cambios, como son las reformas. Las reformas están influenciadas por acciones políticas y marcos legales, para el caso; una reforma educativa es la que estructura el sistema y estructura el contenido curricular, las metodologías de evaluación y el desarrollo del profesional [10]. La diferencia entre innovación y reforma educativa, radica en que la innovación implica cambios en la práctica profesional y sus cambios no necesariamente influyen en todo el conjunto del sistema educativo, mientras que la reforma implica un carácter estructural y sus cambios son sustanciales [11].

A. Modelos de Innovación Educativa

Diversas investigaciones en relación al tema de los modelos de innovación plantean tres tipos diferentes: el modelo de investigación y desarrollo; el modelo de interacción social y el modelo de resolución de problemas. El modelo de investigación y desarrollo se comprende en varias etapas, la primera de ellas es de conocimiento científico, la cual implica recolectar información, datos y teorías para que sean insumo de generación de ideas. La segunda etapa, desarrollo, es la etapa en que se vuelve tangible aquellas ideas produciendo productos o servicios; para que finalmente en la etapa de difusión se multiplique. Este modelo permite aplicar de forma práctica el conocimiento aprendido.

Desde otra perspectiva, el modelo de interacción social, fundamenta su metodología en la difusión de la innovación con el entorno, su objeto de atención es la capacidad que tiene el emisor de transmitir el mensaje a sus receptores, así como su liderazgo, criticidad, contacto personal e integración social [12]. La idea central se estructura de acuerdo a la adopción que toma el receptor y de su respuesta al entorno, de esta forma se transforman los canales de comunicación y las herramientas didácticas que facilitan el aprendizaje.

Finalmente, aparece el modelo de resolución de problemas en donde la innovación surge a través de la definición que el usuario da a la necesidad que desea satisfacer. A diferencia de los otros modelos, éste inicia con el planteamiento del problema, seguido de un diagnóstico que genera prototipos o pruebas para finalmente lograr su adopción; en dicho proceso es importante tener los aportes y la colaboración de los usuarios para generar mejores soluciones. Por ello una de sus principales características es el enfoque participativo que se desarrolla a través de asesoría y orientación. Siendo éste el modelo con mayor uso en las instituciones al permitir llegar a una solución colectiva considerando las necesidades de los usuarios de la innovación.

B. Retos Educativos

Existe una extensa literatura en la que se destacan autores como Armstrong [13], Marzano [14], Stiggins [15] y Chappuis [16]; que visibilizan las “acciones” o retos a los cuales la educación debe enfrentarse, en especial se destaca el desafío que implica la resistencia de cambio en términos de la transformación de los sistemas de evaluación.

María Acaso, en su libro *La educación artística no son manualidades* [17], define en palabras simples que “un reto nace de una situación nueva que nos sitúa ante una encrucijada donde tenemos que decidir qué hacer: abandonar

o enfrentarnos al reto”. La autora propone tres pasos para afrontar un reto: primero, detectar la situación nueva, es decir, establecer las fuentes de cambio; posteriormente, definir las acciones (retos) a realizar ante la situación identificada para que, como etapa final, se desarrollen propuestas para afrontar dichas acciones.

Los retos de la educación superior documentados en la literatura se sintetizan [18] en:

- Los estudiantes, pedagógicamente se forman con un perfil muy específico dentro de su campo.
- La mayoría de universidades carecen de una articulación práctica frente a los conocimientos teóricos adquiridos en las aulas de clase.
- El profesor se constituye como el centro del proceso de enseñanza aprendizaje donde su eficiencia se valora en la medida en que se obtienen del estudiante determinados resultados.
- En el sistema de evaluación no se aprecian las habilidades o cualidades de la personalidad
- Los estudiantes desarrollan estrategias intuitivas para su aprendizaje, lo cual hace ineficiente el proceso y lo convierte en una mezcla de conocimientos.
- Los docentes, en su mayoría, carecen de conocimientos metodológicos necesarios para desarrollar y orientar el trabajo de investigación científica, tanto en el orden técnico como pedagógico.

III. METODOLOGÍA

La estructura metodológica de esta investigación se fundamenta en los lineamientos de las buenas prácticas definidas por Harris Cooper en su libro *The integrative research review: A systematic approach* [19] y en su artículo *Organizing knowledge synthesis: A taxonomy of literature reviews* [20], en los que describe, bajo un enfoque práctico, las etapas que debe seguir el proceso de sistematización de una revisión de literatura: (1) formulación del problema; (2) recopilación de datos; (3) Evaluación de datos; (4) Análisis e interpretación (5) presentación de resultados.

A. Formulación del Problema

Se definió y estructuró el planteamiento de la pregunta central de la investigación: ¿Cuáles son los constitutivos (retos, tendencias y prácticas) que aportan a la innovación de las experiencias de aprendizaje en la ingeniería?. En esta etapa se definieron los criterios de búsqueda que delimitaron, validaron y dieron rigurosidad a la información, para que ésta se convirtiera en material de calidad para dar respuesta al objeto de estudio. Los criterios de inclusión y exclusión establecidos en el protocolo de búsqueda se acotaron en documentos escritos en inglés y español dentro de un lapso de tiempo de 6 años (2010-2016), publicados únicamente en la base de datos *Web of Science*, dentro de un campo de búsqueda limitado por la congruencia existente entre el resumen, el título y la disponibilidad de texto completo bajo áreas de estudio enfocadas a las ciencias humanas, ciencias sociales, ingeniería, innovación en negocios y administración.

B. Recopilación de Datos

La investigación se fundamenta en los resultados obtenidos de 112 artículos recolectados a través del protocolo de búsqueda establecido. La *Web of Science* fue la base de

datos que se utilizó como insumo de los documentos, debido a que es una fuente que establece indicadores cuantitativos de calidad para la publicación de sus documentos; rigurosidad que garantiza la calidad científica en de sus documentos, a la vez que integra literatura científica multidisciplinar de publicaciones evaluadas por pares académicos internacionales [21].

C. Evaluación de Datos

Para la evaluación de la información, se hizo uso del software MAXQDA considerando que proporciona facilidad en la estructura y organización de la información al contar con herramientas que permiten codificar y agrupar datos relevantes para el estudio.

En relación a la extracción desarrollada para las variables, se diseñaron cinco códigos: *qué*, *por qué*, *cómo*, *para qué* e *información general*, con el fin de responder a cuatro preguntas alineadas al proceso de identificación de retos, tendencias y prácticas. El objetivo de establecer estos códigos se explica a continuación:

- Qué, responde a los objetivos de la investigación, es decir a donde se pretende llegar
- Por qué, responde al vacío que la investigación presenta y el hecho por el cual se realiza.
- Cómo, responde a la metodología realizada en cada artículo, por ello este código tuvo mayor relevancia en la extracción de datos pues las metodologías utilizadas responden a las variables de tendencias y prácticas.
- Para qué, responde al impacto que busca hacer la investigación.
- El código de información general es de carácter descriptivo que proporciona tres etiquetas: Autor, Fecha de publicación del artículo y Título del documento.

D. Análisis e Interpretación

En el análisis e interpretación se desarrollaron dos procesos, el primero en relación al análisis de los datos obtenidos para cada una de las variables: retos, tendencias y prácticas pedagógicas; y el segundo para el análisis de la articulación conceptual propuesta.

E. Presentación de Resultados

Los datos obtenidos del análisis de la etapa previa se consolidaron de forma visual para facilitar la comprensión de la información resultante y la apropiación social del conocimiento generado con esta investigación.

IV. RESULTADOS

A. Prácticas Pedagógicas

El resultado de la codificación de la categoría “*Cómo*” en la etapa evaluación de datos, implicó el desarrollo de un análisis profundo de cada uno de los artículos leídos, debido a que esta categoría presentaba la metodología y las actividades que los autores desarrollaron en los ambientes educativos de sus propuestas de estudio; así, se revisaron actividades y metodologías que se orientan y responden a dos de las dos variables: tendencias y prácticas pedagógicas. Las actividades o prácticas encontradas en la literatura se consolidaron y resumieron de acuerdo a los aportes que cada uno de los artículos presentó en el año en el que se publicaron (ver Figura 1).

B. Retos Educativos

Para responder a la identificación de los retos educativos, los resultados se fundamentaron en cuatro documentos clave:

- *Aprendizaje invisible hacia una nueva ecología de la educación* [22]: este documento surge como una estrategia de colaboración donde a través del aprendizaje invisible se contribuye al análisis del papel que los avances tecnológicos juegan en la transformación de procesos de aprendizaje que van más allá de las tradicionales distinciones entre educación formal, no formal e informal.
- *Horizont Report edición educación superior 2014* [20]: En él se examina las nuevas tecnologías y su potencial impacto y aplicación en la Educación Superior.
- *La educación superior en Colombia. Situación actual y análisis de eficiencia* [23]: En él se revisa de manera general la situación de la educación superior en Colombia y se evalúan los niveles de eficiencia de los diferentes programas e instituciones del país.
- *La educación superior en Colombia y Lineamientos políticos de educación superior inclusiva (MEN)* [24]: El documento expone una estrategia de educación inclusiva orientada a la inclusión social. La estrategia es pionera en América Latina debido a que integra el ideal de la educación inclusiva a la realidad colombiana.

Se realizó una lectura exhaustiva de la totalidad de los documentos, analizando la información con el objetivo de clasificar los planteamientos de los autores. Cada documento fue catalogado según su información y pertinencia de acuerdo a tres categorías establecidas:

- Entornos: categoría de primer orden que identifica los principales tópicos en los cuales recae la educación superior para enfrentar los cambios actuales.
- Áreas de cambio: categoría de segundo orden, visibiliza las ramas en las cuales los “entornos” se ven afectados, logran estructurar y especificar los desafíos educativos.
- Desafíos: categoría de tercer orden o última categoría que describe los desafíos de la educación superior.

En consecuencia, se identificaron seis tópicos que responden a los llamados “retos educativos” (Ver Figura 2):

- Gestión del sistema. Integra los desafíos de carácter político y gubernamental del sistema educativo en el país Colombia.
- Cobertura. Destaca variables relacionadas a los sistemas de acceso, calidad y pertinencia de la formación de las instituciones educativas.
- Instituciones. Describe los desafíos internos de la gestión y administración de las instituciones.
- Investigación e innovación. Conecta áreas de infraestructura y gestión como los principales desafíos para incentivar y motivar a estudiantes, docentes e instituciones a desarrollar actividades de carácter científico.

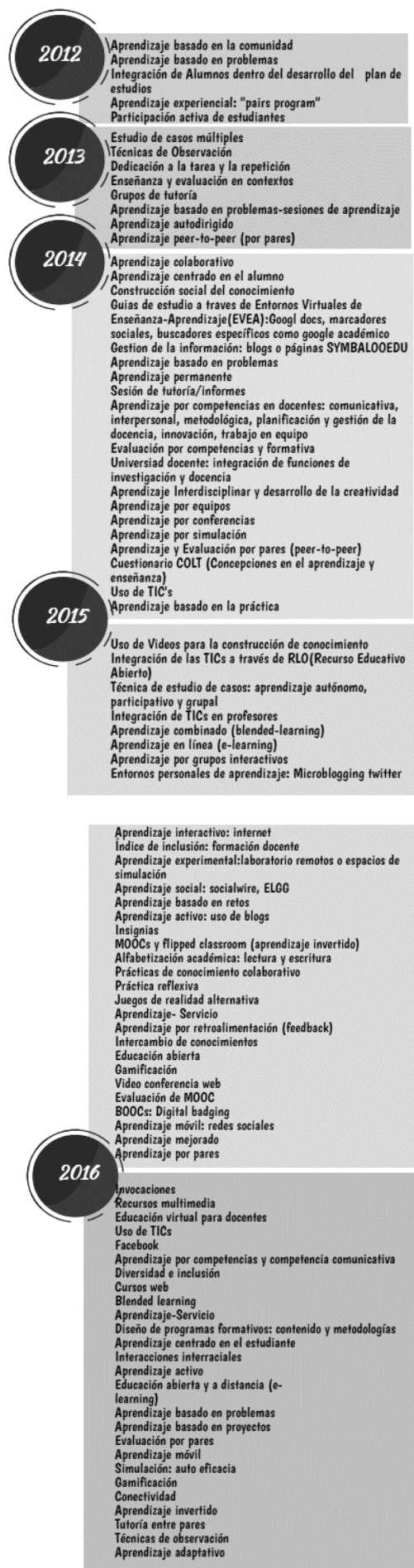


Fig. 1. Consolidado prácticas pedagógicas derivadas del código “Cómo”.

- Pedagogía docente. Involucra los desafíos relacionados al sistema de compensación, formación y entorno en el que se desenvuelve el docente.
- Entorno de financiación. Identifica los desafíos económicos relacionados con la gestión tanto de entidades externas de la gestión de sistema educativo desde la perspectiva gubernamental. De la misma forma, resume las áreas de cambio que clasifican cada uno de los retos identificados con el fin de estructurar y enfocar cada uno de los ítems establecidos.

C. Tendencias Educativas

Los resultados de ésta variable se fundamentan en dos fuentes: los datos extraídos en la revisión de literatura mediante el código “cómo” y los resultados de la codificación de los documentos “Aprendizaje invisible hacia una nueva ecología de la educación” y “*Horizont Report edición educación superior 2014*”. Para el análisis de este elemento constitutivo se integraron dos documentos adicionales como referentes teóricos para la codificación de los resultados: *Radar de Innovación Educativa 2015* y *Radar de Innovación Educativa Preparatoria 2016*. En estos documentos, se reunieron todas las tendencias presentadas por los profesores y líderes de proyectos para su posterior discusión y análisis, como una forma de esbozar una visión estratégica y colectiva ante los nuevos retos que presenta el sector educativo.

Al realizar una lectura exhaustiva de los documentos antes descritos, se clasificaron las tendencias presentadas de acuerdo a dos enfoques principales: *tendencias relacionadas con la pedagogía* y *tendencias enfocadas a la tecnología*. Esta última clasificación, se generó debido al acelerado cambio que ejerce la globalización en la sociedad 2.0 y 3.0 [25] en términos del uso de espacios y herramientas virtuales. De la misma manera, cada uno de los estudios permitió clasificar las tendencias encontradas ahora en relación al tiempo de implementación; arrojando de esta manera tres categorías: *tendencias relevantes actualmente*; *tendencias relevantes en un año* y *tendencias relevantes en tres años*. Considerando esta clasificación, la Figura 3 sintetiza las



Fig.2. Consolidado retos educativos derivados del ejercicio de la revisión.

tendencias comunes entre los artículos analizados en esta investigación, debido a que esta afinidad visibiliza las tendencias más significativas y de impacto de las experiencias desarrolladas en cada una de las propuestas. La agrupación de las tendencias se realizó en la medida en que éstas reincidían en cada uno de los aportes generado por los documentos. En consecuencia, las tendencias resultantes fueron:

- Aprendizaje invertido
- Aprendizaje Híbrido
- Gamificación o aprendizaje basado en juegos
- Aprendizaje basado en retos
- Aprendizaje vivencial o experiencial
- Aprendizaje ubicuo
- Aprendizaje adaptativo
- Realidad aumentada
- Aprendizaje online
- Internet de las cosas
- Laboratorios remotos y virtuales
- Entornos personalizados de aprendizaje
- Aprendizaje basado en proyectos
- Aprendizaje flexible

D. Prototipo de Articulación

Los resultados obtenidos de la revisión de literatura para cada una de las variables; retos, tendencias y prácticas, permitieron la construcción de una propuesta de articulación teórica.

El primer paso de la propuesta fue generar códigos que ayudaran a sintetizar y enfocar la información. Para desarrollar este proceso en las variables “tendencias” y “prácticas” se tuvo que realizar un comparativo entre éstas con el fin de identificar cuáles de sus resultados correspondían al concepto de tendencia y cuales al concepto de práctica debido a que diversos autores en sus propuestas no diferencian este concepto. Una vez organizados los resultados se procedió a su codificación.

Respecto a la codificación de la variable “retos”, se analizó si la clasificación que abordaba la extracción de datos

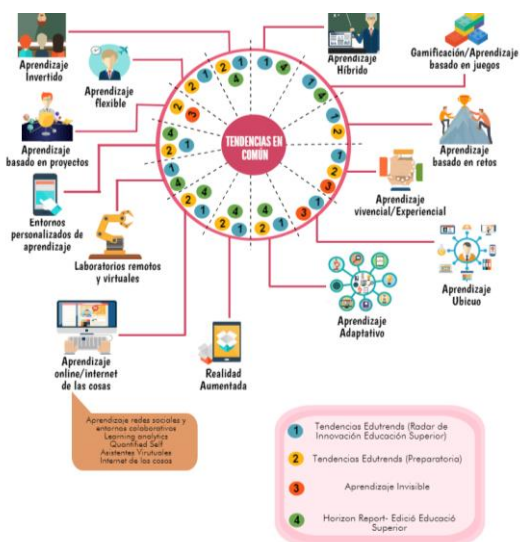


Fig. 3. Consolidado tendencias educativas derivadas de la revisión

de la literatura era congruente con el objetivo de articular las variables, tendencias y prácticas pedagógicas. Así, esta codificación se mantuvo puesto que se consideró válida y pertinente para el desarrollo

de las conexiones del prototipo. De forma paralela, se construyó la codificación que permitió agrupar los ítems pertenecientes a los elementos constitutivos: tendencias y prácticas. Esta codificación se enfocó en determinar las tendencias y las prácticas preponderantes en el desarrollo de las propuestas llevadas a cabo por cada uno de los documentos analizados.

Considerando los aspectos antes descritos, se formularon tres códigos: Educación expandida, Aprendizaje Invisible y Aprendizaje centrado en el estudiante. Categorías que permitieron agrupar las tendencias y prácticas utilizadas para desarrollar las tendencias identificadas.

Posteriormente y con el objetivo de generar una conexión entre las tendencias, prácticas y retos encontrados en la literatura, se estableció una numeración que identificó cada una de los desafíos codificados bajo la categoría “áreas de entorno”. De acuerdo a esta numeración se analizaron los efectos de cada reto y con ello las estrategias y prácticas que aportan a la transformación de dichos desafíos. El prototipo planteado como resultado de la investigación se presenta en la Figura 4.

V. CONCLUSIONES

La revisión sistemática de literatura validó a través del protocolo de búsqueda que existen prácticas, experiencias y metodologías que están siendo desarrolladas y aplicadas por diversos investigadores como una estrategia para identificar mediante procesos rigurosos de sistematización del conocimiento los avances generados en tópicos como la innovación en educación superior.

Con el proceso expuesto, se construyó una propuesta teórica que permitió articular cada uno de los elementos constitutivos de la innovación en las experiencias de aprendizaje en ingeniería, constituyéndose en una herramienta teórico- práctica para el diseño de soluciones orientadas a mejorar estas experiencias, en particular en el contexto de la ingeniería.

En la identificación se hizo evidente la dificultad de articular a la propuesta teórica los retos que dependen de factores gubernamentales y extrínsecos a las instituciones educativas; sin embargo, se encuentra que estos aspectos deben ser considerados en el diseño de soluciones de innovación, puesto que ejercen influencia significativa en el desarrollo de los demás elementos constitutivos del sistema.

La implementación de tendencias y prácticas en el contexto de la educación superior, depende del entorno y del área de conocimiento a desarrollar. Esto implica que la transformación de las experiencias de aprendizaje debe iniciar desde el análisis del enfoque y de los resultados que se pretenden obtener del proceso. El aplicar la propuesta teórica a las diferentes áreas de conocimiento implica de una adaptación previa de los contenidos y de una contextualización de las tendencias y prácticas a los retos y particularidades de los contextos de estudio.

Finalmente, se encuentra que la investigación cubre el vacío identificado en la literatura, respecto a la dificultad de articular, los retos, tendencias y prácticas necesarias para innovar en las experiencias de aprendizaje de la ingeniería. Sin embargo, se sugiere que futuras investigaciones, desde la

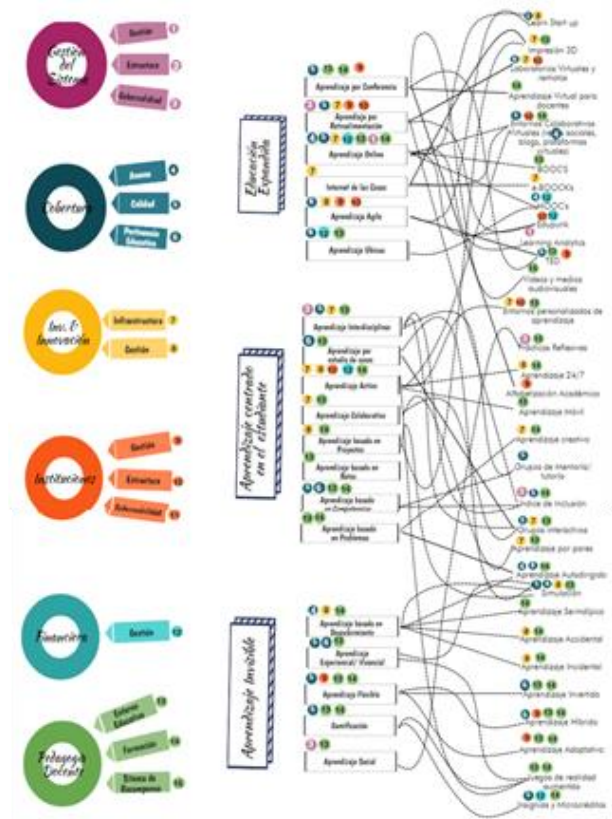


Fig. 4. Prototipo de articulación teórica derivado del análisis de las variables de estudio

perspectiva empírica validen estos hallazgos y contribuyan así a generar un mayor entendimiento del tópico desde la complejidad del mundo real y desde las experiencias en el aula.

AGRADECIMIENTO

Las autoras agradecen al Semillero de Investigación INSPIRA de la Universidad Católica de Colombia y al Laboratorio de Inteligencia Creativa SEMIOSIS LAB de la Universidad Industrial de Santander por sus aportes en el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] De Monterrey Tecnológico. Reporte EduTrends. Radar de Innovación Educativa. 2015
- [2] L, Melo; J, Ramos y P, Hernández. La educación superior en Colombia: situación actual y análisis de eficiencia. Borradores de Economía, 2014, no. 808, p. 1-50.
- [3] Á, Fulvia. Colombia, hacia la educación inclusiva de calidad. Bogotá: Ministerio de Educación Nacional, 2005.
- [4] C, Juan Manuel. Teoría de la Educación. Universidad y ética profesional. 2009. vol. 15, p. 15.
- [5] S, España. Anaya. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 1978.
- [6] A.M. Huberman y R. G, Havelock. Innovación y problemas de la educación. París: UNESCO. 1980.
- [7] R. G. Havelock. Planning for dissemination through dissemination and utilization of knowledge. Ann Arbor, MI: Center for Research on Utilization of Scientific Knowledge. 1969
- [8] A, Barraza Macías. Una conceptualización comprehensiva de la innovación educativa. Innovación educativa, 2005, vol. 5, no 28, p. 19-31.
- [9] A, Hannan y H, Silver. La innovación en la Enseñanza Superior. Enseñanza, aprendizaje y culturas institucionales. Educativo Siglo XXI, 2005, vol. 23
- [10] J, Carbonell. La aventura de innovar: el cambio en la escuela. Morata, 2000

- [11] M^a, Moreno y A, Ferreira La relevancia de las visiones de sentido común de los maestros en el desarrollo de propuestas innovadoras de enseñanza de las ciencias en primaria. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias. 2004. vol. 3, no 3. UVIGO, España.
- [12] M, Moreno, Investigación e innovación educativa. En: la Tarea. 1995, vol. 7
- [13] J S, Armstrong. Long-range forecasting. New York ETC.: Wiley, 1985.
- [14] RJ, Marzano. What works in schools: Translating research into Action? ASCD, 2003.
- [15] R., Stiggins et al. Classroom assessment for student learning: doing it right--using it well. Assessment Training Institute, 2004.
- [16] J, Chappuis y R, Stiggins. An Introduction to Student-Involved Assessment for Learning. Pearson, 2016.
- [17] M, López-Bosch. La educación artística no son manualidades: nuevas prácticas en la enseñanza de las artes y cultura visual. Los libros de la catarata, 2009
- [18] J, Sallan y M, Bris. Las instituciones educativas en la encrucijada de los nuevos tiempos: retos, necesidades, principios y actuaciones. En: Tendencias pedagógicas. vol. 9. 2004, p. 21.
- [19] H, Cooper. The integrative research review: A systematic approach. Applied social research methods series (Vol. 2). Beverly Hills, CA: Sage. 1984
- [20] H, Cooper. Organizing knowledge synthesis: A taxonomy of literature reviews. Knowledge in Society, 1, pp.104-126.1988
- [21] C, Cobo y J, Moravec. Aprendizaje invisible hacia una nueva ecología de la educación. Col·lecció Transmedia XXI. Laboratori de Mitjans Interactius / Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona. Barcelona.
- [22] R. Perez Rafael, D. Emilio y J, Evaristo. Criterios del Institute for Scientific Information para la seleccion de revistas científicas, su aplicación a las revistas españolas: Metodología e indicadores. 2006
- [23] Johnson, L., Adams Becker, S., Estrada, V., Freeman, A. NMC. Horizon Report: 2014 Higher Education Edition. Austin, Texas, Estados Unidos: The New Media Consortium. 2014.
- [24] L A, Melo y J, Ramos. La educación superior en Colombia: Situación actual y análisis de eficiencia. Borradores de economía. N° 808. Banco de la República. <http://www.banrep.gov.co/es/borrador-808>
- [25] MEN. Ministerio de Educación Nacional. Lineamientos Política de educación superior inclusiva. Septiembre 30 de 2013. http://www.dialogoeducacionsuperior.edu.co/1750/articles327647_documento_tres.pdf
- [26] C, Cobo y J, Moravec. Aprendizaje invisible: Hacia una nueva ecología de la educación. Laboratori de Mitjans Interactius/Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona, 2011.
- [27] P. Jorge. Revisión sistemática de literatura en Ingeniería como apoyo a la Consultoría basada en Investigación. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 2013.



Maria Paula Millán (Colombia, 1992) Ingeniera Industrial de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Santander, Colombia, 2017).

Ella tiene experiencia en logística de operación de startups y desarrollo y análisis de base de datos. Actualmente trabaja en R&PPI LATAM incursionando en E-commerce en la apertura de negocios en nuevas ciudades y se encuentra trabajando en proyectos de expansión

internacional. Sus intereses investigativos están asociados a emprendimiento, innovación educativa e innovación estratégica.



Lizeth Serrano (Colombia, 1991) Ingeniera Industrial, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander, Colombia, 2013. Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander, Colombia, 2015. Estudiante de segundo año de Doctorado en Modelado en Política y Gestión Pública de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá D.C, Colombia, 2018.

Ella tiene experiencia como consultora en el sector empresarial, académico y público en el desarrollo de soluciones de innovación. Actualmente es docente y directora del Semillero de Investigación en Creatividad, Innovación y Emprendimiento INSPIRA en la Universidad Católica de Colombia. Sus líneas de investigación están relacionadas con los tópicos de innovación estratégica, Design Thinking, innovación educativa, gestión del conocimiento, prospectiva estratégica, emprendimiento e innovación en política pública.



Edna Bravo (Colombia, 1979) Ingeniera Industrial de la Universidad Católica de Colombia. Bogotá D.C, Colombia, 2003. Magíster en Innovación Docente de la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2006 y Doctora en Administración de Empresas de la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2010.

Ella es docente e investigadora en la Universidad Industrial de Santander. Es directora del Laboratorio de Inteligencia Creativa SEMIOSIS LAB y miembro del grupo de investigación INNOTECH de la misma universidad. Ha sido formada en Design Thinking para la innovación en negocios en Aalto University, Finlandia. Formada en Open Innovation and Corporate Entrepreneurship en ESADE, España. Formada en Writing about Global Sciences for International Media en Columbia University, Estados Unidos. Formada en Gestión de la Creatividad en HEC Montreal, Canadá y en la Universidad de Barcelona, España. En sus intereses investigativos se encuentran los temas de: gestión de la innovación, Design Thinking, innovación abierta, capacidades dinámicas y educación disruptiva.

Página en Blanco

Capítulo 10

Plataforma Docente basada en un Agente Autónomo Móvil de Bajo Coste

R. Orellana Galloso, M.C. Rodríguez Sánchez, J. Vaquero López, D. Martín Martín.

Resumen— La robótica es un campo multidisciplinar que permite desarrollar e integrar diferentes competencias en un mismo proyecto. El elevado coste de los equipos de robótica industrial es una barrera que limita la experimentación en este campo. Sin embargo, la actual proliferación de plataformas de hardware libre permite experimentar con los mismos principios a una escala reducida y a un coste accesible, fácilmente realizable en un entorno docente con presupuestos reducidos. En este artículo se presenta el desarrollo de una plataforma como un medio, no como un fin, para que los estudiantes de grados de ingeniería puedan experimentar con las distintas competencias que deben adquirir; programación y control con microprocesadores, desarrollo de algoritmos de control, desarrollo de instrumentación electrónica para el sensado o sistemas de alimentación autónomos. En concreto, como prueba de concepto, se ha realizado un robot móvil de suelo de 4 ruedas que se desplaza de manera autónoma y evita los obstáculos mediante sensores de ultrasonidos, denominado agente autónomo móvil. El resultado es una plataforma base modificable para ámbito académico que será empleada en distintas clases de laboratorio y trabajos fin de grado, integrando de manera transversal y en un único dispositivo los conocimientos y competencias adquiridos en distintas materias. Adicionalmente, dado su coste y versatilidad, también se ha empleado en proyectos de investigación, como plataforma de validación de distintas tecnologías.

Índice de Términos— educación tecnológica, navegación, robot móvil, ultrasonidos, aprendizaje basado en proyectos, aprendizaje autónomo.

I. INTRODUCCIÓN

ES un hecho que gran parte de los estudiantes de ingeniería tienden a compartimentar los conocimientos adquiridos en distintas materias y no los relacionan de manera natural entre sí. Para minimizar este problema se puede trabajar simultáneamente, entre otros, en dos aspectos:

- 1) La integración efectiva de los planes de estudio, a través de una coordinación real de los contenidos, de manera que los ejemplos vistos en una materia básica

como matemáticas o física se correspondan con problemas reales de otra materia aplicada, como electrónica o control y automatización.

- 2) La utilización del aprendizaje basado en proyectos (PBL o *project based learning*) que implique la utilización conjunta de competencias adquiridas en distintas materias. Estas metodologías combinadas con el trabajo en equipo (CL o *Collaborative Learning*) ya han sido empleadas con éxito [1].

Es en este segundo aspecto donde se sitúa el presente trabajo. El uso de la robótica como herramienta docente permite al estudiante aplicar de manera integrada las competencias adquiridas en distintas materias y adquirir una metodología de trabajo de una forma atractiva, en comparación con otros campos [2]. Sin embargo, este carácter multidisciplinar de la robótica y la variedad de aplicaciones le confiere complejidad. Además, el alto coste de equipos industriales y su carácter propietario y cerrado, limitan su utilización, sobre todo en entornos con escasos recursos. Sin embargo, la actual proliferación de plataformas electrónicas de hardware libre (*open source hardware*), como Arduino, con entornos de programación amigables y costes contenidos, facilitan su empleo y permiten curvas de aprendizaje rápidas [3]. Entornos de desarrollo como ROS (*Robot Operating System*) [4] y su integración con Arduino [5]-[8], son claros ejemplos. También han surgido arquitecturas para proporcionar servicios web y de integración de múltiples “objetos robot” [9].

En la mayoría de estas propuestas se presentan alternativas que disminuyen la curva de aprendizaje de conceptos de robótica mediante niveles de abstracción de las capas inferiores de desarrollo o incluso del hardware. El objetivo del presente trabajo es que el alumno, mediante la implementación de un agente autónomo, desarrolle algunas o todas las etapas del diseño y construcción del mismo, haciendo énfasis en distintas partes en función de la materia para la que se emplee, y manteniendo la filosofía de un coste reducido. Así, en una materia de electrónica digital y microprocesadores se desarrollarán los conceptos de programación de los mismos, en una materia de instrumentación electrónica se desarrollará el sensado necesario y en una materia de control y automatización, se realizarán los algoritmos de control. También, se hará énfasis en el aprendizaje autónomo, utilizando la plataforma presentada como modelo, pero animando al estudiante a modificar cualquier etapa de la misma.

La estructura de este artículo es la siguiente: en la sección II se muestra la arquitectura y la implementación de la plataforma, en la sección III se describe un ejemplo de aplicación, en la sección IV se presentan otras variantes de la plataforma y cómo se han empleado y, finalmente, en la sección V se encuentran las conclusiones y se bosquejan futuras mejoras.

II. ARQUITECTURA E IMPLEMENTACIÓN

Se ha diseñado una arquitectura modular, como es habitual en estas plataformas, para facilitar el desarrollo de cada una de las partes de manera independiente y para permitir modificar, sustituir e incorporar nuevos módulos o nuevas funcionalidades. El objetivo es realizar un robot móvil de suelo de 4 ruedas que se desplaza de manera autónoma y evita los obstáculos, denominado agente autónomo móvil.

La plataforma consta de varias capas (ver Figura 1). La más baja contiene los motores de las ruedas (actuadores), sus accionamientos (*drivers*) y los sensores empleados para el guiado autónomo. Esta parte está ligada a la instrumentación y actuación, por lo tanto, es la más adecuada para desarrollar competencias de electrónica. Por encima se encuentra un microcontrolador encargado de generar los comandos de actuación sobre los motores y de la recogida de datos de los sensores. En esta capa se desarrollan las competencias de programación de microcontroladores y de control. La siguiente capa es un microprocesador que permite realizar aplicaciones que requieran mayor capacidad de procesamiento. Permite desarrollar las mismas competencias que la capa anterior, pero con mayores prestaciones, incluyendo sistemas operativos. Por último, se encuentra una capa de conectividad, que permite el control y la monitorización remota o el acceso a servicios web, permitiendo desarrollar competencias de comunicaciones, programación de dispositivos móviles y/o servicios web.

La implementación requiere un chasis que soporte al agente autónomo lo suficientemente grande como para poder albergar toda la variedad de módulos que se necesiten, pero sin penalizar la agilidad o maniobrabilidad del mismo. Igualmente, el tamaño influirá en el diseño de los motores y la batería para obtener una autonomía razonable acorde con la aplicación en concreto que se vaya a realizar. A continuación, se describen cada uno de los elementos mencionados. En la Figura 2 se muestra una imagen real del dispositivo autónomo en la que se han marcado las distintas partes que lo componen.



Figura .1. Arquitectura del agente autónomo.

A. Chasis

Se ha seleccionado el chasis Pirate-4WD de la empresa DFRobot. Está compuesto por una base de aluminio cerrada en la que se alojan 4 motores, con una caja para 5 baterías tipo AA y un interruptor. Además, dispone de una placa también de aluminio extra, a modo de un segundo nivel, aumentando la superficie útil para instalar los distintos elementos que componen el agente autónomo. Las dimensiones con todos sus componentes instalados son 17x17x27cm (ancho x alto x largo). Tanto la caja como la placa están pre-taladradas y son fácilmente mecanizables por si es necesario distribuir los elementos de manera distinta a la prefijada.

B. Actuadores

Los motores empleados son los TT Micro DC Geared Motor, capaces de girar a 160rpm en vacío con un voltaje de 6V, también de DFRobot, y se ensamblan fácilmente en el chasis. No incorporan *encoders*. Su consumo es de 170mA a máxima potencia. La velocidad máxima con las ruedas de 65mm de diámetro y la carga del chasis está en torno a 4cm/s, más que suficiente para aplicaciones didácticas y de interior. A cada motor va unida una rueda a través de una reductora de 120:1.

La actuación sobre los motores se realiza mediante el módulo controlador L298N, dotado de dos *drivers* independientes de puente completo en H. El módulo incluye diodos de protección y un regulador LM7805 que suministra 5V a la parte lógica del integrado L298N además de tener disponible esa tensión para alimentar a otros sensores externos. La corriente máxima que puede proporcionar es de 2A por *driver*, suficiente para los motores empleados.

La velocidad de los motores se controla mediante una señal PWM. El mínimo ciclo de trabajo necesario para que el robot comience a moverse es del 14%. La configuración de los motores es en oruga, es decir, los motores de cada lateral son controlados por el mismo *driver*. Este permite que los motores giren en ambos sentidos, mediante una señal de control, dada su configuración en puente completo. La utilización de distintos sentidos de giro simultáneamente en cada lateral, permite giros muy cerrados, lo cual posibilita optimizar el recorrido.

C. Sensores

Para que el agente autónomo sea capaz de reconocer el entorno se ha recurrido a unos sensores de distancia por ultrasonidos, modelo HC-SR04 [10], cuyo funcionamiento es similar al de un sonar. Constan de un emisor y de un receptor de ultrasonidos y la circuitería necesaria para su activación,

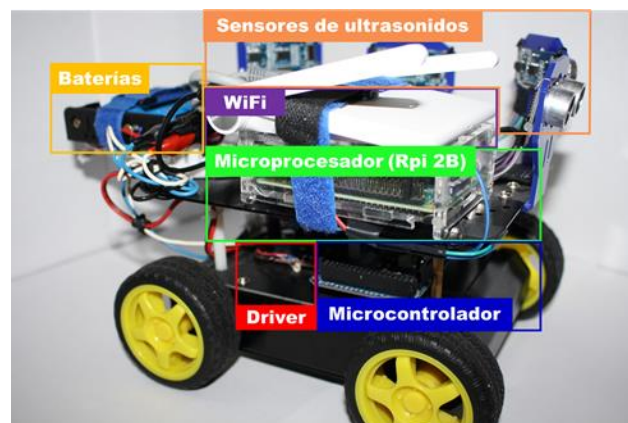


Figura .2. Imagen real del agente autónomo

de manera que se controlan activando una señal de disparo de pulso y leyendo la activación de otra señal del sensor cuando recibe el eco. Los sensores miden distancias comprendidas entre 2 y 400cm con un error de 3mm a una frecuencia de trabajo de 40kHz. La distancia d a un obstáculo se obtiene midiendo el tiempo t_v , transcurrido entre la emisión de la onda y la recepción de su eco, suponiendo una velocidad de propagación del ultrasonido en el aire de $v_u=340\text{m/s}$:

$$d = t_v \cdot v_u / 2 \quad (1)$$

El factor 2 es para tener en cuenta el tiempo de ida y vuelta al obstáculo.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que hay un tiempo mínimo de espera t_e entre medida para evitar errores de solapamiento de ecos. El tiempo teórico de mínimo está indicado por la máxima distancia a medir (400cm), obteniéndose un $t_e=23,5\text{ms}$, de acuerdo con (1). Sin embargo, el fabricante recomienda un $t_e=60\text{ms}$ para evitar errores provocados por propagaciones multicamino.

Otro factor a tener en cuenta es la sensibilidad de captación de obstáculos de los sensores según los ángulos de incidencia. Para ello se debe conocer el diagrama de radiación de los mismos, para así obtener el ángulo real de visión en el que el sensor es capaz de percibir los obstáculos. El dato del fabricante es de 15° , aunque las medidas realizadas indican que los sensores HC-SR04 son capaces de percibir obstáculos grandes con una fiabilidad aceptable en un ángulo de apertura total de 45° .

D. Microcontrolador

Para el microcontrolador se ha empleado la tarjeta Arduino Mega, basado en un procesador ATmega2560 de ATMEL. Dispone de 54 puertos digitales (15 de ellos PWM) de entrada/salida, 16 canales analógicos de entrada, con una frecuencia de reloj de 16MHz a 5V, incluyendo un regulador de tensión para poderlo alimentar entre 7-12V. Esto permite poder alimentarla desde un amplio rango de baterías.

Se programa desde el entorno de programación (IDE o *Integrated Development Environment*) Arduino, muy amigable e intuitivo, basado en lenguaje C++.

El microcontrolador recibe las señales de los sensores, las procesa y envía los comandos de actuación, en este caso a los *drivers* de los motores.

E. Microprocesador

Mientras que para las capas bajas del agente autónomo se ha empleado un microcontrolador, para las capas altas se ha optado por un microcomputador. En concreto, la tarjeta Raspberry Pi 2B (Rpi) que posee, entre otras características, un microprocesador de 4 núcleos ARM Cortex-A7 a 900MHz con 1GB RAM y un puerto Ethernet; y todo ello con un consumo máximo de 650mA. Como sistema operativo se ha escogido la distribución Raspbian de Linux, en su versión mínima sin interfaz gráfica. Este entorno permite instalar diferentes aplicaciones software según las necesidades de procesamiento y las funcionalidades de las que se quiera dotar al agente autónomo. Se ha instalado un sistema gestor de bases de datos relacional y un servidor web mediante los que se almacenará tanto la información proveniente de los sensores como la del estado del propio agente (carga restante de la batería, número de sensores activos, etc). En concreto se ha empleado el paquete software LAMP (Linux-Apache-MySQL-PHP), que incluye de manera integrada un servidor web Apache y una base de datos MySQL.

La comunicación entre el microcontrolador Arduino Mega y la Rpi es bidireccional y se realiza por medio del protocolo (*Inter-Integrated Circuit*). La información recogida por el microcontrolador se envía al microcomputador y se almacena en una base de datos accesible remotamente mediante peticiones http. Por otra parte, el microcontrolador puede recibir órdenes desde el microprocesador, tales como parada, arranque, rumbo, etc.

F. Conectividad

Para el control y la monitorización remota del agente autónomo se emplean comunicaciones inalámbricas. Se ha dotado al agente autónomo de un router WiFi que da conexión a Internet a la Rpi a través de un puerto Ethernet. De esta forma el agente crea su propia red y puede aceptar varias conexiones simultáneas, siendo el cliente el que se conecta a la red del agente.

El router seleccionado es el modelo *Nano* de Xiaomi, con protocolo WiFi 802.11n y Fast-Ethernet.

G. Alimentación

El agente autónomo tiene incorporado 3 baterías de polímeros de litio (LiPo) tipo 18650 en serie, proporcionando un voltaje total de 11,1V nominales con una capacidad de 3.000mAh. Las baterías se alojan en un zócalo que está situado en el nivel superior del chasis, facilitando de esta manera el acceso a ellas para su sustitución cuando hayan agotado su carga. Las baterías son económicas y manejables, pudiendo tener varios juegos de recambio. No se ha previsto su carga en el propio agente, sino simplemente su sustitución en caso de agotarse.

Tras realizar medidas de consumo a pleno rendimiento se ha obtenido un consumo total de 990mAh, desglosado en la Tabla I.

Este valor es algo mayor que el recomendado ($0,2C_5 = 600\text{mAh}$ durante 5 horas), por lo que permite un tiempo de funcionamiento de entre 2 y 3 horas antes de agotar su carga, suficiente para realizar pruebas y tareas.

III. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Para validar el agente autónomo como plataforma educativa y a modo de ejemplo, se ha implementado un algoritmo de guiado autónomo basado en una combinación de un regulador PID (Proporcional Integral Diferencial) junto con unos estados de excepción. El algoritmo permite que el agente móvil se mueva en un entorno desconocido siguiendo una ruta imaginaria situada paralelamente a 10cm de la pared que se encuentre a su izquierda. En este caso se está trabajando sobre la competencia de programación de microcontroladores y microprocesadores y sobre el control.

Algoritmo básico de control de guiado

En la Figura 4 muestra el diagrama de flujo del control desarrollado.

La combinación entre PID y estados de excepción viene determinada por la alineación del agente. Está alineación se

TABLA I
CONSUMO ENERGÉTICO DESGLOSADO

Módulo	Consumo (mAh)
Arduino Mega/Sensores	140
Motores	500
Rpi	200
Router	150
Total	990

calcula mediante la distancia medida por los diferentes sensores. El agente entrará en modo PID siempre que se encuentre alineado con la pared, independiente de la distancia a esta. Si el agente no está a 10cm, el regulador PID hará girar al agente para intentar alcanzar esos 10cm, de manera que perderá su alineación con la pared, pasando de este modo a ser controlado por los eventos programados. En estos casos, la distancia a la pared determinará el movimiento del agente. En caso de encontrarse alejado de la ruta deseada, simplemente avanzará en línea recta para acercarse lo antes posible a ella. Una vez cerca, la instrucción del estado de evento cambia a girar hasta alinearse con la pared. De esta manera el agente se encuentra nuevamente alineado con la pared a la distancia deseada y pasa a ser controlado por el regulador PID.

Cuando el agente se pone en marcha, el control establece como único sensor predominante a aquel que mide la menor distancia a un obstáculo en un determinado instante y lo emplea para conocer la variación de la posición y de rumbo reales respecto a los deseados. El sensor frontal es una excepción, ya que se convierte en el predominante cuando encuentra un obstáculo a menos de 25 cm de distancia. Cada sensor (ver Figura 3) tiene un cometido. El marcado como 0, en la parte frontal, detecta y evita obstáculos frontales. Los sensores 1 y 3, en las esquinas del lateral izquierdo, a 45° sobre el eje de abscisas determinan la inclinación de la trayectoria con respecto a la ruta deseada y, por último, el sensor 2 indica si la trayectoria real se encuentra alineada con la pared guía.

El regulador PID aplica un control sobre el error entre la posición real y la deseada.

Si se detecta un obstáculo frontal a menos de 25cm, el control girará a la derecha para evitar la colisión.

Cuando el sensor predominante sea uno de los de las esquinas (1 ó 3, Figura 3) se interpreta que el agente no está alineado con la ruta deseada. En función del sensor predominante y la distancia a la pared guía, el control decide entre seguir adelante y una vez alcanzada la distancia deseada, corregir mediante un giro la posición, o directamente girar y seguir paralelo a la pared guía.

Con la simple combinación de estos estados a modo de ciclo, el agente es capaz de guiarse por entornos heterogéneos.

Base de Datos

Como se ha mencionado anteriormente, el agente almacenará información acerca de la distancia medida a los obstáculos en su propia base de datos.

Para ello, una vez por segundo, el microcontrolador lee a distancia que indican los 4 sensores al obstáculo más cercano y las envía a la Rpi, empaquetadas en JSON, para que esta las almacene en la base de datos. Cada dato es almacenado con una marca de tiempo (*timestamp*).

Se ha realizado una prueba en entorno real, en los pasillos del edificio del Departamental II del Campus de Móstoles de la URJC (ver Figura 5), el comportamiento del agente autónomo se basa en dos movimientos básicos, que son:

Caminar en línea recta junto a la pared: intentando seguir una ruta imaginaria paralela a la pared, a 10 cm de ésta.

Giro en las esquinas: cuando se llega al final del pasillo el agente tiene que ser capaz de girar para continuar la senda de la siguiente pared.

El recorrido mostrado en la Figura 5 ha sido realizado por el agente autónomo en 11 minutos a razón de 1 metro cada 7

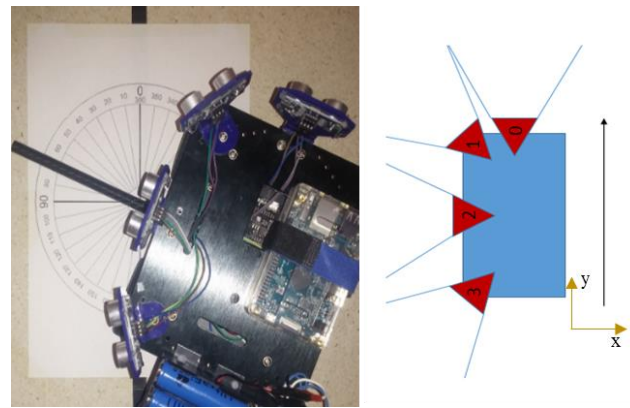


Figura .3. Diagrama de radiación de los sensores y disposición de los mismos.

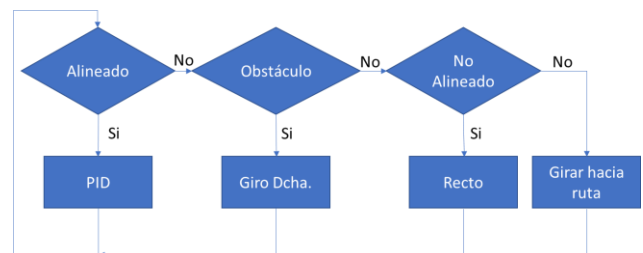


Figura .4. Diagrama de flujo del agente autónomo

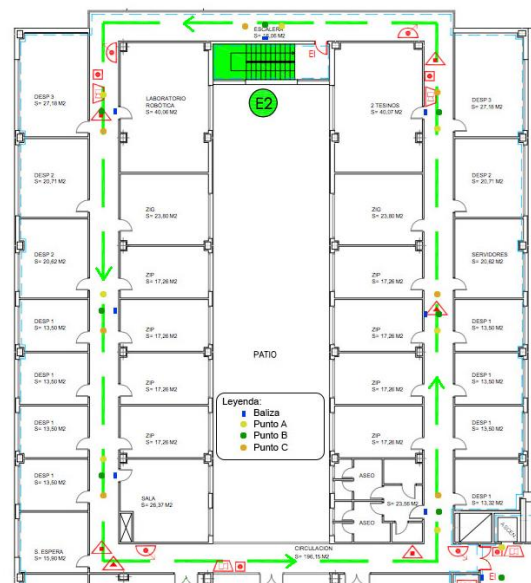


Figura .5. Plano del ala derecha del Departamental II del Campus de Móstoles de la URJC. En verde el camino que debe realizar el agente autónomo.

segundos. La Figura 6 muestra ejemplos del comportamiento real del agente con el control descrito a partir de los datos recogidos en la base de datos.

IV. VARIANTES

Partiendo de la plataforma descrita, se han iniciado distintos Trabajos Fin de Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales, de Ingeniería en Organización Industrial y próximamente, en materias de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, en los que se ha animado a los estudiantes a explorar distintas soluciones para el guiado. La Figura 7 muestra una variante en la que la capa del microcontrolador se ha implementado sobre una tarjeta

RoMeo V2, basada en la tarjeta Arduino Leonardo y que incluye el microprocesador ATmega32u4, dos *drivers* para motores de continua y paso a paso y un zócalo para incluir módulos de comunicaciones inalámbricas en formato Xbee. Se ha suprimido la capa del microcomputador.

En este caso, el estudiante ha ensayado una nueva disposición de los sensores de ultrasonidos que ha permitido realizar un nuevo algoritmo de control y ha mejorado el tiempo del recorrido de la Figura 5, reduciéndolo de 12 a 8 minutos.

El algoritmo implementado establece 3 rangos de actuación, en función de la distancia medida a un obstáculo.

El rango más cercano es de 0 a 27cm para los dos sensores laterales traseros y 0 a 30cm para los sensores laterales delanteros y el sensor delantero. El rango intermedio es desde 27cm a 60cm para los sensores laterales traseros, desde 30cm a 63cm para los sensores laterales delanteros y desde 30cm hasta 50cm en el sensor delantero. El rango más lejano es hasta los 4m, que es el rango máximo de medida de los sensores.

En algoritmo emplea los obstáculos para orientarse, de modo que sigue las paredes hasta que encuentre algún obstáculo que lo haga girar. En caso de tener más de una posibilidad de giro, se ha definido el giro a izquierdas por defecto.

En los rangos 1 y 2, si están los 4 sensores laterales o los 2 sensores laterales delanteros activos en el mismo rango, el agente autónomo se colocará a la misma distancia de la izquierda que de la derecha, esto esta implementado para una distancia máxima entre obstáculos de 1,4m.

También en ambos rangos 1 y 2, cuando en un lateral se detecta un obstáculo en el mismo rango y en el otro no se detecta ningún obstáculo, el agente autónomo se coloca a 0,4m del obstáculo.

Si ninguna de esas condiciones se satisface, se emplean dos tablas de verdad para cada rango para decidir la dirección a seguir en función de qué sensores han detectado un obstáculo y en qué rango está. Dentro de cada rango el control es puramente proporcional. En el rango 2 se realizan movimientos más suaves por la mayor lejanía al obstáculo, mientras que en el rango 1, donde es necesario que el agente autónomo cambie más rápido la dirección, los movimientos son más rápidos.

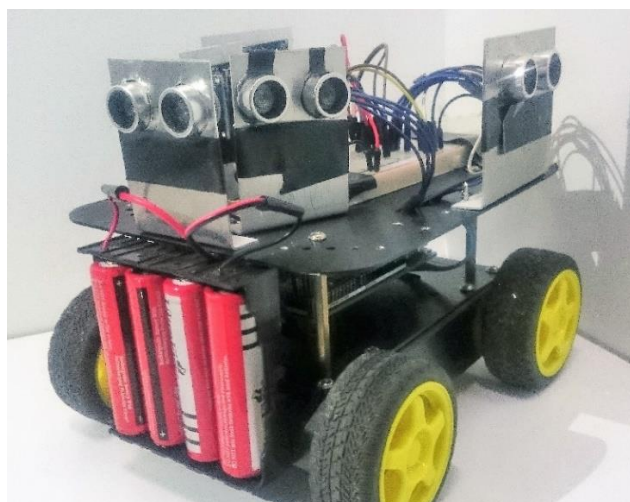


Figura .7. Variante con tarjeta microcontroladora Romeo y sensores de ultrasonidos a ambos lados del chasis.

La Figura 9 muestra una segunda variante en la que de nuevo la capa de microcontrolador se ha implementado sobre una tarjeta RoMeo V2 y se ha mantenido el resto. Se le ha añadido un módulo de medida de intensidad de señal Bluetooth (BT), con el objeto de medir de manera automática la intensidad de señal de unas balizas BT pertenecientes a un sistema de localización y guiado en interiores por proximidad y basado en *Smartphones*. La altura del módulo BT viene determinada por la altura media a la que una persona lleva su teléfono cuando va realizando un recorrido.

Con la misma filosofía que la plataforma presentada y sus variantes, se ha diseñado y construido un robot autoestable, Figura 10. En este caso, enfocado a competencias relacionadas con control y automatización. El robot tiene unas dimensiones de 26x32x12cm y 1.600g de peso. Utiliza tres bandejas de metacrilato de 20x8x0,5cm; la inferior aloja la batería y los motores, la central incorpora la electrónica de alimentación, sensado y control y la superior está libre, permitiendo añadir diferentes cargas al robot.

Incorpora dos motores paso a paso Wantai (Nema 17 de tipo bipolar, comúnmente utilizados en impresoras 3D) de 4,8kg·cm de par máximo y 200 pasos por vuelta. Los motores se gobiernan desde sendos *drivers* DRV2588 de Pololu, que permiten resoluciones de hasta 1/32 de paso. El conjunto se alimenta con una batería Li-po de tres elementos en serie, de 11,1V de tensión nominal y 2.200mAh de capacidad.

El lazo de control está basado en un PID discreto, que se ha implementado en una tarjeta Arduino 101. Dicha tarjeta utiliza un módulo microcontrolador Intel Curie de 32 bits a 32 MHz, e incorpora 196kB de memoria flash y 24 kB de SRAM. Dispone de un sensor inercial (IMU o *Inertial Measurement Unit*) de seis ejes integrado y un módulo de comunicaciones Bluetooth Low Energy. La sensórica se ha completado con un magnetómetro, a través de un segundo IMU externo de 9 ejes, el MPU 9250 de InvenSense y una tarjeta controladora auxiliar Arduino Nano.

Además de las líneas anteriormente descritas, se ha ampliado el mismo concepto empleando como plataforma un RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*), dado el gran atractivo que actualmente tienen entre los estudiantes. Ya se ha realizado una primera plataforma, en forma de Trabajo de Fin de Grado, en el que se ha implementado un cuadricóptero de clase 250mm.

Al igual que en el ejemplo presentado, se ha seleccionado un chasis, se han dimensionado los motores, sus *drivers* conforme al peso del conjunto y la carga de pago (*payload*) a transportar, una controladora de vuelo programable, la

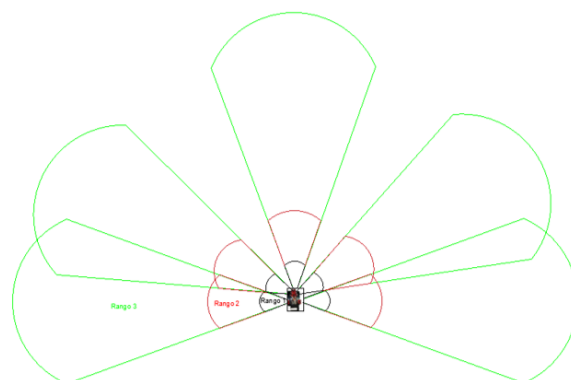


Figura .8. Diagrama de radiación de los sensores y disposición de los mismos en la primera variante.

sensores a incorporar y el sistema de alimentación (baterías y convertidores necesarios). En la Figura 11 se muestra la plataforma desarrollada.

En otro posterior desarrollo, dos alumnos de nuestros grados en Ingeniería en Tecnologías Industriales e Ingeniería en Organización Industrial han realizado su Trabajo de Fin de Grado en el diseño, configuración, montaje y pruebas de vuelo de dos multicopteros similares para el vuelo autónomo en interiores. Las plataformas elegidas han sido de tipo cuadricóptero, por su óptima relación peso/autonomía, de tamaños 250 y 330 (diagonal, en mm, entre dos de los cuatro rotores, Figuras 12 y 13). Además, se han incorporado también conceptos de diseño mecánico mediante el uso de software específico (CAD o *Computer Aided Design*) e impresión 3D. Como primera prueba se ha desarrollado un tren de aterrizaje y sistemas de protección pasiva que permitan la operación segura de ambas plataformas en espacios confinados.

En ambos robots aéreos se están implementando tecnologías de Detección y Evitación de Colisiones, algo que también es imprescindible para una operación con garantías en entornos interiores. Se ha optado por dos estrategias diferentes.

La primera de ellas ha consistido en utilizar tecnología de detección basada en sensores de ultrasonido, ya que por su reducido tamaño y bajo coste resultan una opción muy adecuada para un cuadricóptero pequeño. En concreto se ha trabajado con sensores de tipo HC-SR04, iguales a los empleados en el agente autónomo (sección II.C). Se ha diseñado un circuito impreso (Figura 12) que integra cuatro sensores montados en cruz que permiten la detección de colisiones frontales, traseras y laterales, además de un sensor en posición ventral, que permite tanto el mantenimiento automático de altura en interiores como la activación y desactivación de las maniobras de evasión en función de la altura de vuelo. Los cinco sensores se gobiernan desde una tarjeta tipo Arduino Nano, integrada en el circuito impreso de los ultrasonidos y conectada a la controladora de vuelo a través de comunicación serie.

Hasta la fecha, la evasión de posibles colisiones se ha implementado en lazo abierto, mediante la realización de una maniobra predeterminada cuando se detecta una posible colisión y no se está en un espacio muy reducido (pasillo, paso de puerta, etc.). La gestión de la maniobra se realiza mediante el envío de comandos MAVlink (*Micro Air Vehicle Link*), un protocolo de comunicación para vehículos aéreos no tripulados, desde la Arduino Nano a la controladora de vuelo, inhabilitando temporalmente el control manual del cuadricóptero.

En paralelo al sistema anterior, y para el cuadricóptero de mayor tamaño (y por ello con mayor capacidad de carga) se está implementando otra tecnología de detección, basada en un sensor de medida de distancias por láser (LIDARLite v1.0 de PulsedLight, Figura 14) de tamaño reducido.

Las ventajas de este tipo de sensor residen en el uso de luz láser infrarroja pulsada (longitud de onda de 905nm), lo que se traduce en la posibilidad de medir distancias de hasta 40m con precisiones de 2,5 cm y tiempos de adquisición de tan sólo 20ms. Además de la detección y evasión de colisiones, montando el sensor en una plataforma que permita su operación libre en acimut y elevación, como la de la Figura 14, se pueden realizar mapeados continuos del entorno tanto en el plano (mapeado 2D) como en el espacio (mapeado 3D). Véase la Figura 15. La realización de estos mapeados son un



Figura .9. Variante con tarjeta microcontroladora Romeo y detalle de la parte superior del módulo para medida de intensidad de señal de Bluetooth.

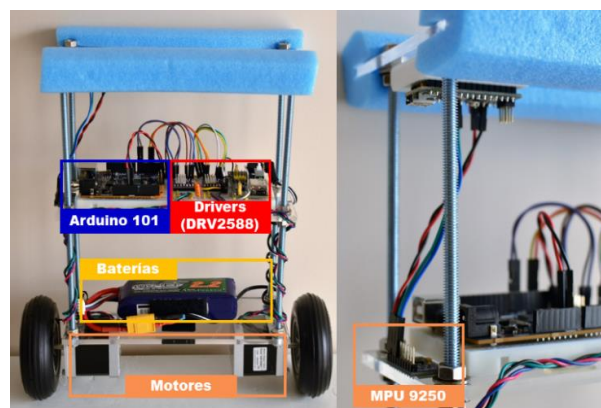


Figura .10. Robot autoestable y detalle del magnetómetro del IMU externo.



Figura .11. Cuadricóptero de clase 250mm.

paso previo para el desarrollo de modos de vuelo totalmente automáticos.

En la actualidad se está trabajando en la implementación de un algoritmo de Localización y Mapeado Simultáneos (SLAM, *Simultaneous Localization and Mapping*) basado únicamente en escaneos 2D del LIDARLite, sin datos odométricos y que pueda ser ejecutado en procesadores de baja potencia de cálculo, como los que normalmente se embarcan en agentes aéreos. Dicho proceso permitirá el conocimiento en tiempo real de la trayectoria de vuelo del cuadricóptero en un entorno confinado de dimensiones y geometría previamente desconocidas. Para ello se está utilizando la plataforma ROS (*Robotic Operating System*), un conjunto de herramientas y librerías que en los últimos años

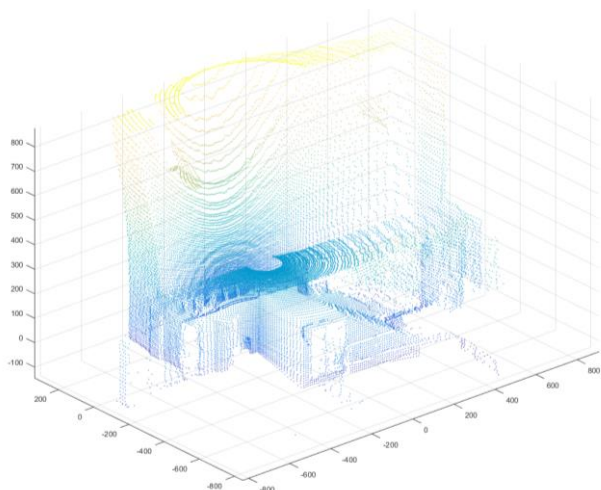


Figura .15. Modelo 3D del hall del edificio Departamental II del campus de Móstoles, Universidad Rey Juan Carlos, empleando el sensor LidarLite v1.0

se ha convertido en el estándar de programación de robots móviles.

V. CONCLUSIONES

Se ha presentado el diseño e implementación de un conjunto de plataformas educativas que permiten trabajar de manera transversal las competencias adquiridas en distintas materias.

La integración efectiva de los planes de estudio, a través de una coordinación real de los contenidos, de manera que los ejemplos vistos en una materia básica como matemáticas o física se correspondan con problemas reales de otra materia aplicada, como electrónica o control y automatización, relacionadas con la electrónica y el control, en grados de ingeniería, todo ello con unos costes contenidos. A modo de ejemplo de aplicación de esta metodología, se ha desarrollado varias versiones de un agente autónomo móvil y de RPAS.

La solución diseñada permite la ampliación y/o modificación de los distintos módulos que la componen, pudiendo incorporar más sensores (*encoders*, IMU, etc), otros tipos de dispositivos de reconocimiento de entorno (infrarrojos, cámaras, Lidar, etc) y distintos tipos de comunicaciones (WiFi, BT, ZigBee, UWB, etc)

El empleo de estas plataformas resulta muy atractivo y motivador para el estudiante, ya que trabaja con un dispositivo físico real y no solo con simuladores software. Esto supone que se debe enfrentar a problemas de todo tipo, incluyendo montaje, mecánica o cableado, poniendo de manifiesto dos aspectos importantes de la ingeniería, 1) su carácter multidisciplinar y 2) el hecho de que las soluciones planteadas deben funcionar en el mundo real; siendo una experiencia global muy satisfactoria para el alumnado.

Respecto de los resultados de aprendizaje de los estudiantes, se ha observado que no es tan importante que la solución implementada sea finalmente la óptima, como el proceso de llegar a esa solución, la adquisición de una metodología de trabajo y la necesidad de establecer criterios objetivos para tomar decisiones. Es habitual que el estudiante exprese que, de volver a empezar el trabajo, lo haría de manera distinta.

Todo ello se puede realizar con un coste no superior a los 200€ en los agentes autónomos rodantes y a 300€ en los RPAS, lo que lo permite un acercamiento más accesible a estas tecnologías. Sin embargo, no sustituye la necesidad de



Figura .12. Cuadricóptero tamaño 250 con sistema de detección y evasión de colisiones y mantenimiento automático de altura basado en ultrasonidos.



Figura .13. Cuadricóptero tamaño 330 con sistema de protección fabricado por impresión 3D.

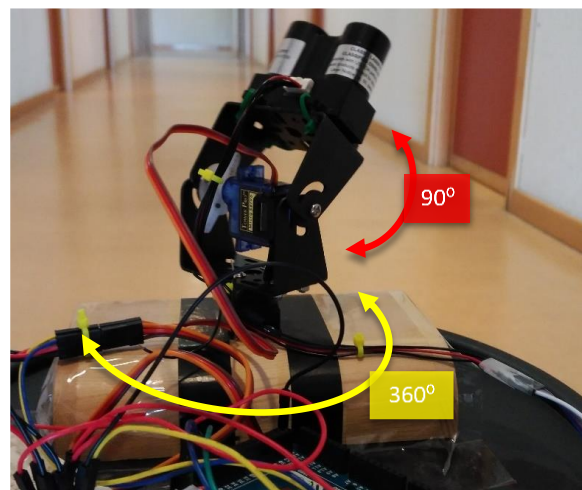


Figura .14. LidarLite v1.0 montado sobre plataforma móvil para barridos en azimut y elevación.

equipos industriales reales en materias de mayor especialización.

Por último, estas plataformas también pueden servir de modelos funcionales a escala que permiten probar soluciones tecnológicas en proyectos de investigación, antes de escalarlas a un prototipo de mayor coste.

REFERENCIAS

- [1] M. C. Rodríguez-Sánchez, A. Torrado-Carvajal, Student Member, IEEE, J. Vaquero, S. Borromeo, Member, IEEE, and J.A. Hernandez-Tamames, "An Embedded Systems Course for Engineering Students Using Open-Source Platforms in Wireless Scenarios. IEEE Transactions on Education, vol. 59, no. 4, November 2016.
- [2] J.M. Cañas, E. Perdices, T. González, D. Puig, "Recognition of Standard Platform RoboCup Goals" in Journal of Physical Agents, January 2010.
- [3] Warren, J.-D., Adams, J., Molle, H.: Arduino robotics. Springer Science and Business Media, 2011.
- [4] M. Quigley, K. Conley, B. P. Gerkey, J. Faust, T. Foote, J. Leibs, R. Wheeler, and A. Y. Ng, "ROS: an open-source robot operating system," Proc. Open-Source Software workshop of the International Conference on Robotics and Automation, 2009.
- [5] André Araújo, David Portugal, Micael S. Couceiro, Rui P. Rocha, "Integrating Arduino-Based Educational Mobile Robots in ROS" in Journal of Intelligent and Robotic Systems, February 2014.
- [6] Araújo, A., Portugal, D., Couceiro, M., Figueiredo, C., Rocha, R.: "TraxBot: assembling and programming of a mobile robotic platform" Proc. of the 4th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2012). Vilamoura 2012.
- [7] A. Soriano, L. Marín, M. Vallés, A. Valera, P. Albertos, "Low Cost Platform for Automatic Control Education Based on Open Hardware" in The International Federation of Automatic Control, August 2014.
- [8] Francisco M. López-Rodríguez, Federico Cuesta, "Andruino-A1: Low-Cost Educational Mobile Robot Based on Android and Arduino" in Journal of Intelligent and Robotic Systems, May 2016.
- [9] J. Saraydaryan, Fabrice Jumel, Adrien Guenard, "ASTRO: Architecture of Services Toward Robotic Objects" in International Journal of Computer Science Issues, July 2014.
- [10] Ultrasonic Ranging Module HC - SR04 Datasheet, <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>
- [11] Optical Distance Measurement Sensor LIDARLite v1.0, <https://www.pulsedlight3d.com/>

Rubén Orellana Galloso es Ingeniero Técnico en Telecomunicación por la U. de Málaga y Máster en Sistemas Telemáticos e Informáticos por la URJC de Madrid. Ha trabajado como ingeniero de innovación en Disner, empresa dedicada a climatización y calefacción. Actualmente compagina su trabajo de ingeniero en Telefónica de España con su función de colaborador en el Área de Tecnología Electrónica de la URJC.

Maria Cristina Rodríguez-Sánchez es Ingeniera Informática y Doctora en Ingeniería Informática por la URJC. Actualmente es profesora de Tecnología Electrónica en la URJC de Madrid, donde dirige una línea de innovación docente centrada en los sistemas de control y guiado. Sus trabajos se centran en servicios contextuales basados en sistemas electrónicos embebidos y aplicaciones inalámbricas.

Joaquín Vaquero López es Ingeniero Industrial por la UPM y Doctor Ingeniero Industrial por la UNED. Ha trabajado jefe de proyectos de electrónica de potencia en la empresa SEPSA. Actualmente es profesor de Tecnología Electrónica en la URJC de Madrid. Sus trabajos se centran en instrumentación electrónica y en electrónica de potencia.

Diego Martín Martín es Licenciado en Ciencias Físicas por la UCM y Doctor en Ciencias Físicas por la UPM. Actualmente es profesor de Tecnología Electrónica en la URJC de Madrid, donde codirige una línea de innovación docente centrada en los sistemas de control y guiado para vehículos aéreos no tripulados. Sus líneas de investigación incluyen el modelado y fabricación de células fotovoltaicas de semiconductores III-V y la optoelectrónica orgánica.

Cápitulo 11

Prácticas de Electrónica de Potencia con Plataforma Digital Basada en Microcontrolador

Pablo Zumel, Cristina Fernández, Carlos Salto, Andrés Barrado

Abstract - Se ha desarrollado una plataforma digital basada en una tarjeta comercial para la realización de sistemas de control de convertidores de potencia. La orientación es didáctica y centrada en las prácticas de laboratorio. Se pretende con ello actualizar las prácticas para incrementar la motivación de los alumnos, mejorar la utilización del tiempo de laboratorio por parte de los alumnos, para que puedan centrarse en la adquisición de los conocimientos fundamentales, y relacionarlas con otras asignaturas, para proporcionar una visión más general de la materia de enseñanza y facilitar la integración de los conocimientos.

I. INTRODUCCIÓN

Las prácticas de laboratorio son una parte esencial en la enseñanza universitaria actual. Con el uso de nuevos paradigmas educativos como los cursos con gran apoyo audiovisual y trabajo del alumno fuera del aula (ej. MOOC o *Massive Online Open Courses*), *flipped class-room*, etc. es de esperar que en el futuro las prácticas de laboratorio adquieran una especial importancia y tengan que adaptarse a los nuevos usos didácticos. Por un lado se deberán plantear materiales para que el alumno prepare en incluso realice las prácticas de forma autónoma. Por otro lado, el trabajo en el laboratorio será una de las formas de interacción presencial más importante entre profesor y alumno. El diseño de unas prácticas de laboratorio deberá contemplar una doble orientación hacia el trabajo autónomo del alumno y el trabajo conjunto con el profesor en el laboratorio.

Otro aspecto muy interesante de las prácticas de laboratorio es la oportunidad para mostrar al alumno la interrelación entre asignaturas. Es frecuente encontrar en enseñanzas técnicas asignaturas que planteen, especialmente a nivel de laboratorio, actividades en las que se utilicen conceptos o dispositivos de diferentes materias. En este sentido, un ejemplo de aplicación de laboratorio en la que se pueden relacionar varias asignaturas son los convertidores de potencia conmutados. Pueden ser por tanto el sujeto de estudio en una asignatura de electrónica de potencia, pero también la aplicación en otras de control o sistemas digitales. Además, este planteamiento se acerca a la práctica industrial dado que el control digital de convertidores de potencia es un estándar en muchas aplicaciones, incluso de baja potencia y alta frecuencia de conmutación.

La renovación de contenidos y aplicación de conceptos o tendencias de presente y de futuro es algo especialmente integrable en las prácticas de laboratorio. En este sentido, la

conexión de los dispositivos digitales de control a Internet y su interacción con otros sistemas o usuarios (*Internet of Things*, IoT) puede incorporarse a las actividades cotidianas del laboratorio, para aprovecharse de las ventajas que proporciona (p.ej. interactuar con el sistema utilizando el teléfono móvil) y para que esté presente en la idea de sistema electrónico que manejen los alumnos, aunque no sea el sujeto central del estudio.

El objetivo general de la iniciativa descrita en este trabajo es la elaboración del material básico de una serie de prácticas de Electrónica de Potencia, basada en una plataforma digital para el control de los convertidores de potencia. Los usos que puede tener este conjunto de prácticas pueden abarcar tanto cursos de grado, como de master y cursos no presenciales de tipo MOOC.

Los requisitos fundamentales a la hora de diseñar el sistema de prácticas son los siguientes:

- **Coste reducido y robustez:** el coste del equipamiento básico tiene que ser asumible por un alumno, especialmente si se quiere utilizar en cursos no presenciales. Por otra parte, la posibilidad de que el alumno pueda experimentar por sus propios medios puede suponer un valor añadido para prácticas avanzadas u orientadas al diseño.
- **Flexibilidad:** la misma plataforma ha de cubrir todos los convertidores de potencia que se puedan utilizar en unas prácticas, incluso de nivel avanzado. Para ello, debe tener suficientes recursos para la generación de muchos pulsos de disparo y con distintas configuraciones (p.ej. para un convertidor Dual Active Bridge se pueden necesitar 8 pulsos de disparo independientes). La plataforma debe soportar niveles de complejidad adaptables a diferentes niveles educativos: estudio básico de topologías, montaje de la etapa de potencia, diseño del control, diseño total del convertidor, etc. Además, se debe poder utilizar en diferentes asignaturas, no necesariamente de electrónica de potencia (control, microprocesadores, instrumentación, etc.). Esto puede reducir la dispersión de dispositivos que se puede llegar a tener en un departamento que imparta muchas asignaturas, lo que permite un desarrollo más sencillo de las prácticas de laboratorio.
- **Conectividad:** es necesario poder soportar interfaces de usuario que permitan interactuar y monitorizar el convertidor. Para ello, la tarjeta debe incorporar cierta conectividad, bien a través del propio PC (terminal emulador del puerto serie), bien a través de una conexión *ethernet*. Esta última posibilidad puede tener un valor

práctico importante, puesto que el profesor y el alumno pueden conectarse al sistema desde su *tablet* o *smart phone* interactuando con el sistema. Además, también tiene el valor de poder integrar conceptos relacionados con temas emergentes (IoT), lo que abre el abanico de asignaturas en las que se puede utilizar la plataforma digital.

En este artículo se describe un sistema orientado a laboratorios de Electrónica de Potencia, desarrollado considerando los requisitos mencionados e implementado empleando una plataforma digital que consta de una tarjeta de desarrollo de bajo coste y altas prestaciones basada en microcontrolador y del software de control de los convertidores de potencia. El material que se ha generado se puede aplicar a prácticas de electrónica de potencia de diversos niveles y también se podría utilizar en asignaturas afines de sistemas empotrados o ingeniería de control. Esta plataforma de prácticas ha sido desarrollada a través de diversos Trabajos Fin de Grado y utilizada en la asignatura de Electrónica de Potencia del Grado de Ingeniería de Tecnologías Industriales en la Universidad Carlos III de Madrid.

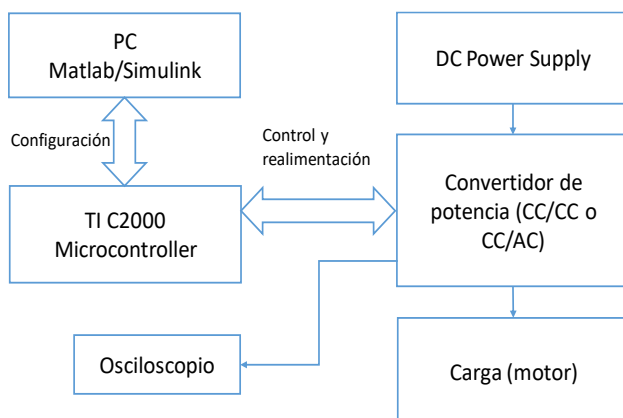


Figura 1 Esquema del puesto de trabajo de los laboratorios en la universidad de Purdue. Fuente: (Saeedifard, 2012)

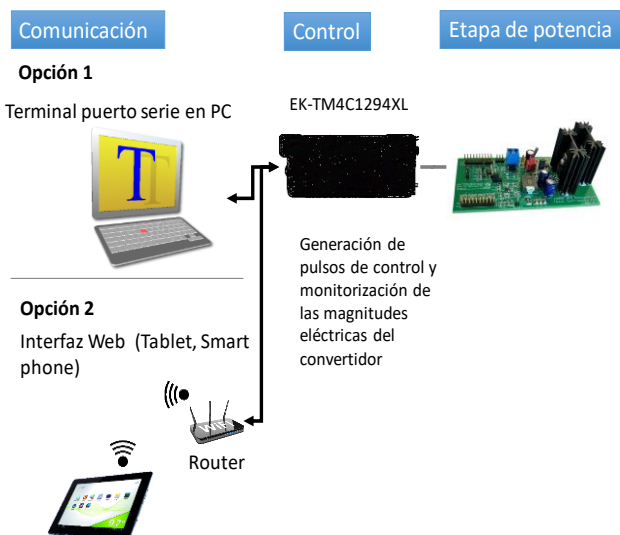


Figura 2 Esquema del sistema propuesto

II. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

A. Estado de la técnica: plataformas digitales para la enseñanza de Electrónica de Potencia.

Existen diferentes plataformas digitales para la enseñanza de Electrónica de Potencia tanto como producto comercial, como propuestas de grupos de investigación.

Como propuestas comerciales *National Instruments* [1] ofrece un sistema que combina control digital sobre un convertidor real. Esta propuesta reúne los requisitos técnicos planteados en la introducción (flexibilidad y conectividad), pero su precio es elevado.

Aunque no se ajustan a los requisitos de experimentación sobre un convertidor real, se pueden mencionar alternativas basadas en el concepto de *Hardware in the Loop*. En estos sistemas la etapa de potencia es simulada en tiempo real por un sistema de procesamiento basado en FPGAs, mientras que la etapa de control es la que normalmente se conectaría al convertidor real. Diversos fabricantes de sistema HIL (OPAL-RT o Typhoon) ofrecen productos con cierta orientación didáctica. Esta alternativa es interesante cuando se quieren estudiar sistemas que por su complejidad o magnitud son inabordables en un laboratorio docente. Sin embargo, su precio también es elevado para equipar un laboratorio con varios puestos.

En el ámbito universitario existen sistemas de prácticas de Electrónica de Potencia similares al descrito en este trabajo, como por ejemplo el propuesto en [2] (Figura 1). En este caso, se plantea unas sesiones de laboratorio en las que el alumno debe diseñar y realizar el control en lazo cerrado de un convertidor de potencia controlado con un microcontrolador Texas Instruments C2000. Si bien es una opción interesante, este sistema carece de la posibilidad de conexión a Internet para poder interactuar con el sistema mediante una interfaz web. Si bien este requisito no es necesario para la realización de prácticas de electrónica de potencia, le puede dar un valor añadido, tanto desde el punto de vista práctico y para favorecer la relación con otras asignaturas y dotar de un conocimiento más transversal.

En [3] se propone un sistema compuesto por una interfaz gráfica desarrollada en Matlab que se comunica con la FPGA de una tarjeta de desarrollo, que a su vez controla los interruptores de un módulo comercial de prototipado rápido de Semikron. Esta aproximación es atractiva y permite al alumno estudiar los convertidores básicos, especialmente los inversores, enfocándose a los aspectos fundamentales del control. Sin embargo, de nuevo el coste del puesto por alumno puede considerarse elevado debido a la propia tarjeta de control y al módulo de semiconductores.

B. Descripción General del Sistema Propuesto

La estructura del sistema propuesto (Figura 2) está formada por los siguientes bloques:

- **Comunicación:** la principal función de este bloque es establecer la relación entre el usuario y el sistema. El usuario puede ser el alumno o el profesor. Las funciones de este bloque son:
 - Monitorización y configuración del control del convertidor utilizado: configuración básica del control de convertidor (p.ej. configuración en lazo abierto o cerrado, valor del ciclo de trabajo, etc.) o configuración avanzada (coeficientes del lazo, tiempos muertos, etc.).

- Instrumentación virtual: captura y presentación de los valores de algunas magnitudes eléctricas sin procesar (p.ej. tensión de entrada) o procesadas (p.ej. contenido armónico de tensiones o corrientes, factor de potencia, etc.).

Para la realización de la interfaz de usuario existen dos opciones, en función de la opción de conectividad que se utilice:

- Opción 1: terminal serie emulado en el PC, típicamente mediante el uso de software libre (como *putty*). La comunicación con el microcontrolador de la tarjeta se realiza a través de alguna de las UART disponibles y es la opción más sencilla para prácticas básicas.
- Opción 2: servidor web que es albergado por la propia tarjeta de control. Además de permitir una presentación de los datos más gráfica, esta opción permite al profesor conectarse a cada puesto al margen de los alumnos.

- **Control:** las funciones de control consisten en la generación de pulsos de disparo de los interruptores de los convertidores y captura de magnitudes analógicas. Además, el dispositivo de control debe comunicarse con la interfaz de usuario, ya sea el emulador del puerto serie, ya sea un navegador web. El dispositivo elegido, que constituye el núcleo de la plataforma digital es la tarjeta EK-TM4C1294XL [5] (TI TIVA C, ARM Cortex-M4). Pertenece a la familia *Launchpad* de TI, incorpora todos los componentes necesarios para la alimentación, protección y depuración, y tiene una excelente relación precio/prestaciones. Por lo tanto, cumple el primer requisito planteado en la introducción.

Esta tarjeta es una plataforma de desarrollo de bajo coste para microcontroladores de la familia ARM® Cortex-M4F, utiliza el microprocesador TM4C1294NCPDT. La frecuencia de reloj es de 120MHz, tiene una amplia conectividad (10x I2C, 8x UART, 4x Quad-SSI, 10/100 Ethernet MAC+PHY), dispone de dos 12-bit ADC (2MSPS) y tiene un módulo de control PWM. Estos son los elementos básicos para controlar los convertidores de potencia que se pueden abordar en unas prácticas.

Posee otros periféricos, como dos *encoders*, gestión avanzada de memoria, etc. Además, existe una comunidad de usuario relativamente amplia, de forma que hay disponible una apreciable cantidad de módulos de expansión e información sobre aplicaciones y programación de la tarjeta. Es compatible con los entornos de desarrollo *Energía*, *Keil uVision*, *Code Composer Studio*, etc. y dispone de una gran cantidad de bibliotecas que facilitan la programación y utilización de los periféricos (*TivaWare*). Todas estas características, hacen que la tarjeta mencionada tenga la conectividad y flexibilidad descrita entre los requisitos básicos de la plataforma a desarrollar.

- **Convertidores de potencia:** dependiendo del tipo de práctica, el convertidor será montado por los alumnos o se proporcionará un prototipo montado en una tarjeta de circuito impreso. En este último caso las tarjetas se pueden diseñar cumpliendo los requisitos de compatibilidad de los “*boostpack*” o las tarjetas de expansión de la familia *Launchpad*, que tienen unos conectores comunes. Estos convertidores normalmente manejarán niveles de potencia, corriente y tensión bajos, dado su uso docente, y

deberán incorporar los circuitos de disparo o adaptadores necesarios para adaptar las señales generadas por el microcontrolador de la tarjeta (baja tensión y referidas a la misma masa).

III. EJEMPLOS DE APLICACIONES DESARROLLADAS

A continuación, se describen tres de las aplicaciones desarrolladas para la plataforma. La primera se describe más en detalle puesto que la estructura es similar para todas ellas, la segunda es la que se utiliza actualmente en unas prácticas de grados y la tercera trata de un convertidor más avanzado para asignaturas de nivel máster.

A. Control de un Convertidor en Puente Completo

En esta aplicación se ha desarrollado el sistema de control de un convertidor CC/CC en puente completo o *full bridge* como el de la Figura 3.

El funcionamiento del puente es con control en fase desplazada, es decir, las ramas (S1-S3 y S2-S4) se disparan con señales desfasadas un cierto ángulo, que es la variable de control para cambiar la tensión aplicada a la carga. Además, para este convertidor se puede conseguir conmutación a tensión cero (ZVS) mediante la adecuada selección de los tiempos muertos entre los disparos de los interruptores de la misma rama.

En el diagrama de bloques del sistema de control (Figura 4) aparecen las funciones que realiza el microcontrolador cuando funciona en lazo cerrado. En lazo abierto el usuario indica directamente el ángulo de desfase entre las dos ramas. En este caso concreto, la modulación por fase desplazada ha requerido un trabajo adicional, puesto que directamente no es

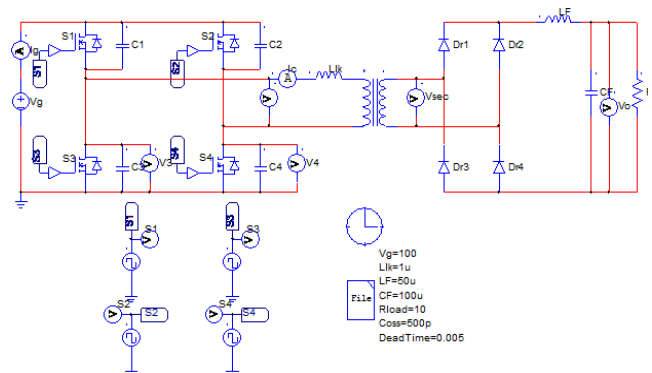


Figura 3. Convertidor full bridge

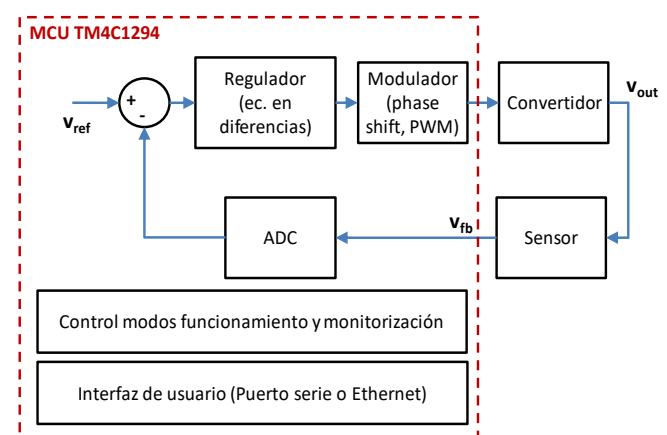


Figura 4 Diagrama de bloques del Sistema de control

uno de los modos de funcionamiento que permite el periférico PWM del microcontrolador. Además, hay que añadir la posibilidad de modificar a voluntad los tiempos muertos de los disparos de los interruptores de la misma rama.

El programa queda descrito en sus bloques básicos en la Figura 13. El programa principal consiste fundamentalmente en la ejecución de la interfaz de usuario. En este caso se utiliza un menú básico a través del puerto serie (Figura 14). Sin embargo, la estructura del programa hace sencilla la sustitución, o inclusión, de la interfaz web con el usuario.

Además del programa principal se utiliza la rutina de atención a la interrupción de un *timer* como elemento básico para el cálculo del lazo de control. Esta interrupción tiene la máxima prioridad y se garantiza la frecuencia constante en la ejecución de la ecuación en diferencias del regulador. Por otro lado, si el funcionamiento es en lazo abierto, esta rutina también se ejecuta y simplemente se miden con el ADC las magnitudes del convertidor que se quieren monitorizar.

En la Figura 5 se muestra el montaje de laboratorio utilizado para la validación del programa. El convertidor se ha realizado en este caso aprovechando la tarjeta de puente inversor monofásico que se utiliza actualmente en otras prácticas. Esta tarjeta contiene el puente inversor y los drivers, con lo que sólo hay que añadir los componentes magnéticos, el puente rectificador, el filtro de salida y la carga. Estos elementos se pueden montar sin demasiada complicación en el laboratorio, de modo que este montaje podría directamente utilizarse en una sesión de prácticas.

En la Figura 6 y la Figura 7 se muestran formas de onda del convertidor, típicas del estudio del mismo en unas prácticas de laboratorio. El funcionamiento en lazo abierto es fundamental en el desarrollo de las prácticas puesto que es donde se estudia el comportamiento del convertidor a nivel topológico.

En la Figura 8 aparecen los datos de tensión de salida y desfase en el disparo de las ramas del puente inversor en función de la tensión de entrada. En esta prueba el alumno puede ver cómo el lazo de control consigue regular cuando la tensión de entrada es suficientemente alta como para mantener regulada la tensión de salida al valor especificado.

B. Convertidores Básicos (Reductor y Elevador)

La estructura del sistema de control es básicamente la misma que en el caso anterior. En este caso el modulador es más sencillo, puesto que directamente se puede utilizar el periférico PWM del microcontrolador. Los convertidores pueden ser síncronos, por lo que se deben generar dos pulsos de disparo (MOSFET principal y MOSFET síncrono).

El montaje del convertidor de potencia se ha realizado en este caso directamente sobre una placa de inserción (*proto-board*), dado que los componentes son pocos. El interfaz de usuario es similar al descrito en el apartado anterior y contempla los modos de funcionamiento en lazo abierto y lazo cerrado.

En Figura 9 y Figura 10 se muestra el funcionamiento en lazo cerrado del convertidor elevador ante diferentes tensiones de entrada. Esta es la prueba más sencilla que pueden realizar los alumnos para comprobar el funcionamiento en lazo cerrado. Por el momento, no es posible medir en el laboratorio de forma automática lazos de control para verificar el diagrama de Bode del sistema en lazo cerrado, dado que los equipos necesarios son demasiado caros. En un futuro próximo se prevé integrar en el

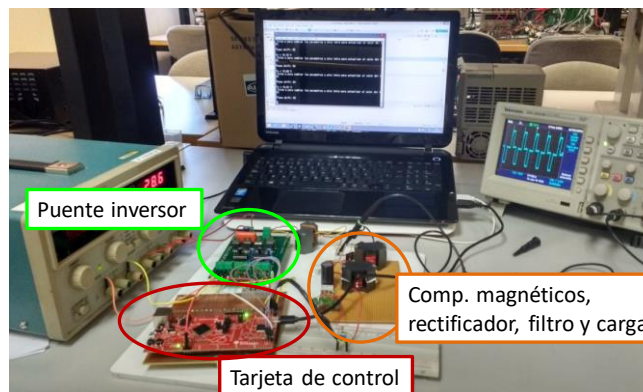


Figura 5 Montaje de laboratorio (convertidor full bridge).

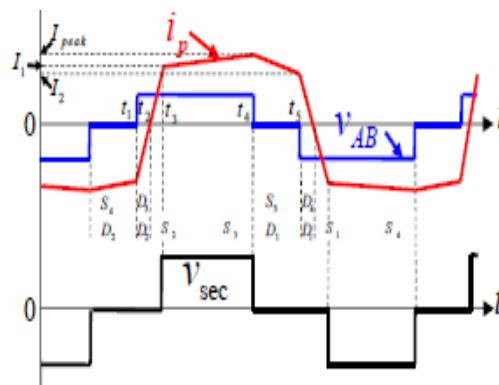


Figura 6 Formas de onda teóricas (full bridge): corriente por la inductancia del primario (rojo), tensión puente inversor (azul), tensión en el secundario (negro)



Figura 7 Formas de onda experimentales (full bridge): corriente por la inductancia del primario invertida (morado) y tensión en el secundario (amarillo)

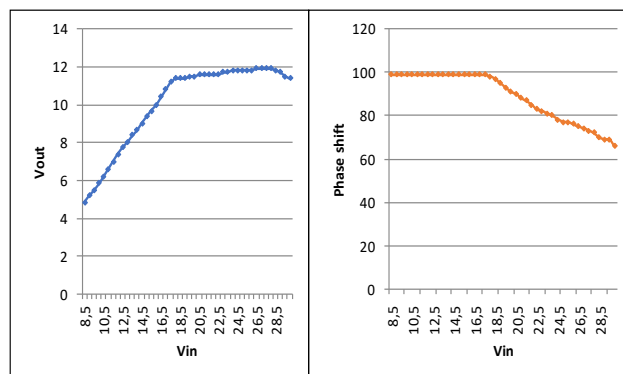


Figura 8 Funcionamiento en lazo cerrado variando la tensión de entrada (conv. Full Bridge)

microcontrolador un sistema de identificación para la medida de la respuesta en frecuencia del sistema.

C. Convertidor Bidireccional Dual Active Bridge

El tercer ejemplo mostrado en este trabajo es el del control de un convertidor Dual Active Bridge, representado en la Figura 11.

Las formas de onda más representativas (tensión y corriente en la inductancia entre los dos puentes, i_{lk} y v_{lk} en Figura 11) se muestran en la Figura 12. La interfaz de usuario, la estructura del programa y los modos de funcionamiento son iguales a los de los ejemplos anteriores. La diferencia más notable respecto de los otros casos anteriores es que se deben controlar dos puentes de cuatro interruptores cada uno.

IV. ORIENTACION DIDÁCTICA: DESARROLLO MEDIANTE TRABAJOS FIN DE GRADO Y APLICACIÓN A PRÁCTICAS DE GRADO

La generación de este sistema de prácticas orientado a principalmente a Electrónica de Potencia tiene una doble vertiente didáctica. Además de la aplicación final al ámbito docente, su elaboración se ha basado en gran parte en la realización de diversos Trabajos de Fin de Grado. Estos trabajos son didácticamente muy interesantes, puesto que reúnen contenidos de diversas áreas y tienen un objetivo concreto muy conocido por los propios alumnos, como son las prácticas de laboratorio.

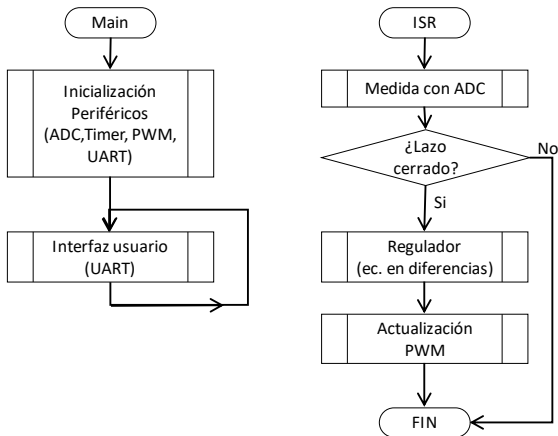


Figura 13 Diagrama de flujo básico. Programa principal (izquierda) y rutina de atención a la interrupción (derecha) para el cálculo del regulador

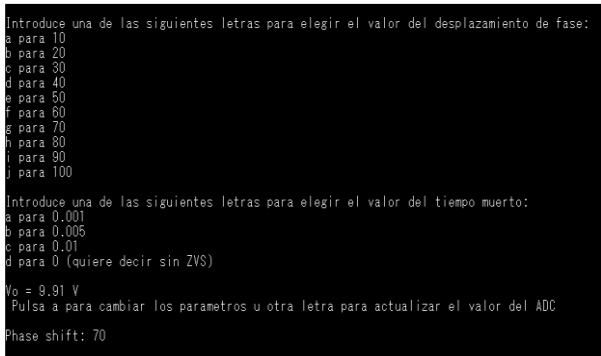


Figura 14 Interfaz de usuario a través del puerto serie

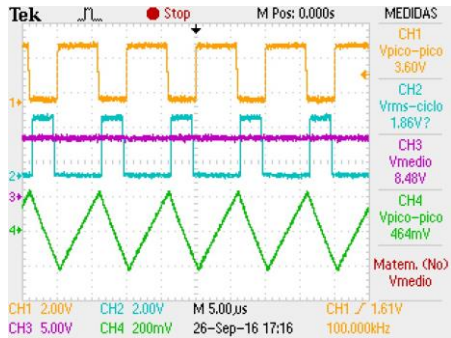


Figura 9 Convertidor elevador en lazo cerrado. Tensión de entrada 4 V y tensión de salida 8,48 V. Pulsos de disparo (amarillo y azul), tensión de salida (morado), componente alterna de la corriente en la bobina (verde)

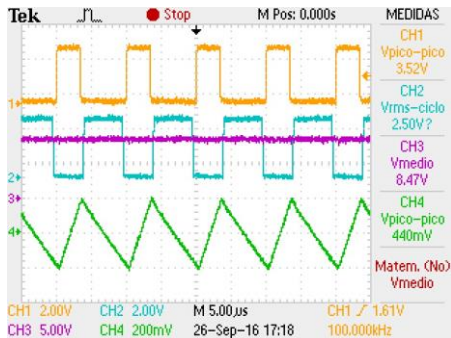


Figura 10 Convertidor elevador en lazo cerrado. Tensión de entrada 6 V y tensión de salida 8,47 V. Pulsos de disparo (amarillo y azul), tensión de salida (morado), componente alterna de la corriente en la bobina (verde)

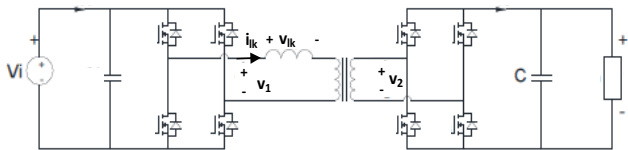


Figura 11 Convertidor Dual Active Bridge

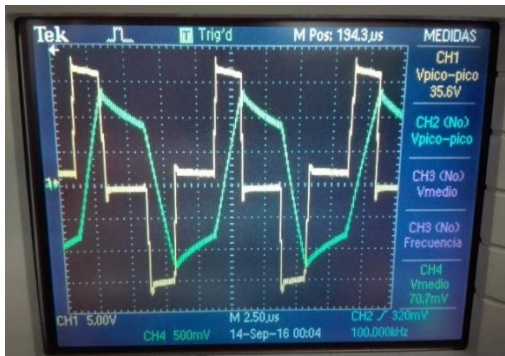


Figura 12 Tensión (amarillo) y corriente (verde) en la inductancia de dispersión entre los dos puentes de un convertidor Dual Active Bridge

A. Desarrollo de las Aplicaciones mediante Trabajos Fin de Grado

El requisito inicial de flexibilidad planteado como la capacidad de controlar muchos convertidores diferentes con el mismo hardware, ha dado lugar al planteamiento de varios Trabajos Fin de Grado (TFG), siguiendo todos ellos un esquema común. Hasta ahora se han desarrollado el control para los siguientes convertidores:

- Convertidores básicos sin aislamiento controlados en modo tensión (reductor, elevador y reductor-elevador), con frecuencia fija de conmutación.
- Convertidores reductor y elevador controlados en modo corriente con frecuencia variable de conmutación
- Convertidor de puente completo con control por desplazamiento de fase.
- Convertidor *Dual Active Bridge*.
- Convertidor *flyback* en modo de conducción discontinuo para su aplicación a la corrección del factor de potencia.
- Inversor monofásico en puente completo, con control por fase desplazada y PWM.

Se han abordado un considerable número de posibilidades diferentes: tipo de conversión (CC/CA, CA/CC y sobre todo CC/CC), frecuencia de conmutación fija o variable, control de variables promediadas o de pico y diferentes topologías.

Los TFG han seguido un planteamiento similar, cuyos rasgos comunes son los siguientes:

- Estudio teórico de los convertidores, tanto en régimen permanente como en régimen dinámico. Se ha utilizado la aproximación de [6], en cuanto al planteamiento de circuitos equivalente en régimen permanente que permite contabilizar pérdidas de conducción orientando el estudio al diseño, y más tarde extenderlo al estudio del régimen dinámico.
- Elaboración del SW de control en lazo abierto y en lazo cerrado del convertidor en cuestión, incluyendo un pequeño interfaz a través del puerto serie.
- Validación experimental.
- Adaptación del material generado a una sesión de prácticas.

Estas características comunes responden al planteamiento de una actividad docente en sí misma (p.ej., el primer punto) y a la orientación a un producto final (p.ej. los puntos segundo, tercero y cuarto).

En todos los casos mencionados la interfaz desarrollada se basa en el emulador de puerto serie, con los menús del tipo descrito en la sección anterior. El desarrollo de la interfaz web que realice la misma funcionalidad es relativamente sencillo y requiere que cada tarjeta esté conectada a un *router* con red WiFi. A modo de ejemplo y para ilustrar la viabilidad de este tipo de interfaz, se puede citar otra asignatura en la que se ha

utilizado esta tarjeta, “Proyectos Experimentales II”, del Master en Ingeniería de Sistemas Electrónicos y Aplicaciones de la Universidad Carlos III de Madrid. En el marco de esta asignatura se han desarrollado interfaces web para interactuar con el sistema (configuración y presentación de datos). Como ejemplo se muestra la Figura 15, que corresponde a la interfaz para el control de una lámpara LED con capacidad de comunicación. En este caso el usuario se conecta al *router* a través de la red WiFi y el microcontrolador le sirve la página web mostrada, mediante la que se puede controlar el sistema de la lámpara LED controlada por tres transistores con PWM y acceder a diversas funciones.

B. Aplicación a las Prácticas de Grado

El ejemplo descrito en la sección III.B ha sido utilizando en este curso para renovar las prácticas de la asignatura de Electrónica de Potencia en el Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales impartido en la Universidad Carlos III de Madrid. Se trata de una asignatura de 6 créditos y de carácter optativo de 4º curso. Previamente a esta asignatura los alumnos han cursado Fundamentos de Ingeniería Electrónica (2º curso), Instrumentación Electrónica (3er curso) e Ingeniería de Control (3er curso). A la vez que esta asignatura, cursan Electrónica Digital y en el cuatrimestre posterior cursan Sistemas Digitales (microprocesadores).

Las prácticas en cursos anteriores estaban organizadas en cuatro sesiones de 2 horas 45 minutos cada una (TABLA I). Se impartían al finalizar la asignatura y consistían en el diseño y caracterización de un convertidor elevador para alimentar un ordenador portátil desde la batería de un coche (12V-19V), con ayuda de un circuito integrado PWM (UC3825). El espíritu de las prácticas era la caracterización de un único convertidor con una cierta profundidad.

El montaje del circuito integrado de control es un aspecto didáctico en el sentido de poder montar el convertidor completo sin ayuda de elementos externos. Sin embargo, dado que se monta sobre una placa de inserción, los problemas prácticos hacían que en muchos casos se dilatara demasiado el trabajo de las sesiones 2 y 3 (TABLA I columna “Prácticas de cursos anteriores”).

En el curso 2016/2017, se dejó de utilizar el integrado UC3825 y para el control del convertidor elevador se utilizó

TABLA I
ORGANIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE GRADO CON UTILIZACIÓN DE LA PLATAFORMA DIGITAL PROPUESTA

Sesión	Prácticas anteriores cursos	Prácticas renovadas
1.	Diseño del convertidor. Simulación, montaje de la etapa de potencia y control con generador de funciones	Caracterización del convertidor en lazo abierto y Modo de Conducción Continuo
2.	Caracterización del convertidor en lazo abierto con UC3825 [7]. Modo de conducción continuo	Caracterización de convertidor en lazo abierto y Modo de Conducción Discontinuo
3.	Caracterización del convertidor en lazo abierto con UC3825. Modo de conducción discontinuo	Estudio del convertidor en lazo cerrado
4.	Convertidor en lazo cerrado con UC3825	Práctica conversión CC-CA (inversores modulados)

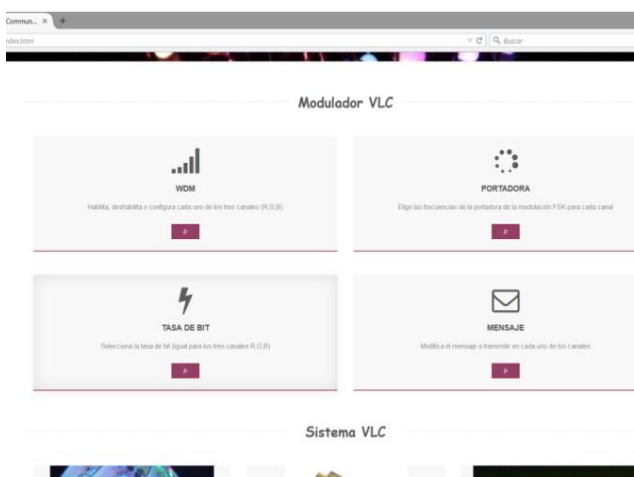


Figura 15 Ejemplo de interfaz web desarrollado con la tarjeta EKT4C1294XL para el control de una lámpara LED

o el generador de funciones (lazo abierto) o la tarjeta de control propuesta en este trabajo (lazo abierto y lazo cerrado). Como consecuencia de ello, se han eliminado los problemas causados por el montaje del circuito de control en la placa de inserción, manteniendo los contenidos de cursos anteriores. Además, todos los alumnos han completado en su totalidad el estudio del control en lazo cerrado, mientras que en cursos anteriores una parte de los alumnos no lo hacían. Por otra parte, ha sido posible completar todo el contenido empleando una sesión menos. De esta forma, ha sido posible realizar una última práctica sobre inversores monofásicos con modulación PWM (TABLA I), en la que el alumno caracteriza un inversor monofásico que se les da prácticamente montado. En cursos anteriores este trabajo se realizaba de forma teórica y mediante simulación.

Por otro lado, los ejemplos 1 y 3 de la sección anterior permiten organizar prácticas en asignatura más avanzadas, ya sean segundas asignaturas en Electrónica de Potencia o asignaturas de Master. Además, se puede organizar sesiones de diseño y caracterización o sesiones más orientadas a la demostración.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una plataforma de control digital de convertidores conmutados para ser utilizada en prácticas de laboratorio. Si bien el enfoque inicial es a asignaturas de Electrónica de Potencia, también se pueden utilizar en asignaturas afines. Algunas de las ventajas conseguidas gracias a la propuesta presentada es una actualización de las prácticas, mejora en la utilización del tiempo de laboratorio y mayor interrelación con otras asignaturas.

La tarjeta utilizada presenta una relación calidad/coste muy favorable, se basa en un microcontrolador relativamente moderno y posee periféricos adaptados al control de convertidores (ADC, PWM, etc.). Además, tiene muchas posibilidades de comunicación (UART, Ethernet, etc.) lo que facilita la comunicación con el sistema de control en funcionamiento.

Se han desarrollado varios programas de control de convertidores: puente completo con desplazamiento de fase, reductor, elevador, reductor- elevador, Dual Active Bridge, reductor con control de corriente de pico, etc.

La aplicación a una asignatura de uno de los ejemplos desarrollados ha validado su funcionalidad. Sin perder contenidos fundamentales ha hecho posible que se soslayen ciertos problemas prácticos en el montaje de circuitos de control y se optimice la utilización del tiempo de prácticas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer especialmente a Pablo Crego y Gonzalo Barrios su participación en los Trabajos Fin de Grado desarrollados en esta iniciativa y la cesión del material para elaborar este artículo. Los autores también agradecen a Aranzazu Fernández y Enara Ortega la cesión del material gráfico de la interfaz web.

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y por fondos FEDER a través del proyecto de investigación "Sistema de Almacenamiento y Gestión de la Energía para Coche Eléctrico Híbrido basado en Pila de Combustible, Batería y Supercondensadores" - ELECTRICAR-AG- (DPI2014-53685-C2-1-R)

REFERENCIAS

- [1] "Paquete de Enseñanza de Electrónica de Potencia" National Instruments, <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/212988> Febrero 2017
- [2] S. Choi et al., "An Educational Laboratory for Digital Control and Rapid Prototyping of Power Electronic Circuits," in IEEE Transactions on Education, vol. 55, no. 2, pp. 263-270, May 2012.
- [3] "Plataforma basada en MATLAB, FPGA Xilinx y Semiteach-IGBT para docencia en electrónica potencia" G. Pérez, A. Garrigós, J. M. Blanes, R. Gutiérrez, XX Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación 2013, Madrid, 1-12 Julio
- [4] J. M. Williams et al., "Versatile hardware and software tools for educating students in power electronics," in IEEE Tr. on Education, vol. 47, no. 4, pp. 436-445, Nov. 2004
- [5] "Tiva™ C Series TM4C1294 Connected LaunchPad Evaluation Kit EK-TM4C1294XL User's Guide", Texas Instruments 2016, <http://www.ti.com/lit/ug/spmu365c/spmu365c.pdf>
- [6] R.W.Erickson, D. Maksimovic "Fundamentals of Power Electronics", 2nd Edition, Springer, 2001
- [7] "High Speed PWM Controller", Datasheet UC3825, Texas Instruments 2004, SLUS235A
- [8] "Desarrollo del sistema de control de convertidores de potencia CC/CC FB para plataforma para prácticas de electrónica de potencia" Carlos Salto Isla, Trabajo Fin de Grado, Universidad Carlos III de Madrid, 2016
- [9] "Desarrollo del sistema de control de convertidores de potencia CC/CC DAB para plataforma para prácticas de electrónica de potencia" Gonzalo Barrios, Trabajo Fin de Grado, Universidad Carlos III de Madrid, 2016
- [10] "Desarrollo del sistema de control de convertidores de potencia CC/CC sin aislamiento y frecuencia de conmutación constante para plataforma para prácticas de electrónica de potencia" Pablo Crego, Trabajo Fin de Grado, Universidad Carlos III de Madrid, 2016
- [11] "Desarrollo del sistema de control de convertidores de potencia CC/CC sin aislamiento y frecuencia de conmutación constante para plataforma para prácticas de electrónica de potencia" Adrian Klauza, Trabajo Fin de Grado, Universidad Carlos III de Madrid, 2016



Pablo Zumel es Ingeniero Industrial por la Universidad Politécnica de Madrid (1999), Ingénieur de l'Ecole Central Paris (2000), y Doctor por la Universidad Politécnica de Madrid (2005). Desde 1999 a 2003 fue investigador en la Universidad Politécnica de Madrid. Desde 2003 forma parte del Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad Carlos III de Madrid, donde actualmente es Profesor Titular. Realiza su actividad investigadora en el Grupos de Sistemas Electrónicos de Potencia, en temas como el control digital de convertidores de potencia, modelado de convertidores, convertidores modulares, transferencia de energía sin contacto y aplicaciones didáctica de la ingeniería electrónica.



Carlo Salto obtuvo el Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales y en el Master en Ingeniería de Sistemas Electrónicos y Aplicaciones en 2016 y 2017 respectivamente, ambos por la Universidad Carlos III de Madrid. Desde 2016 a 2017 colaboró como investigador con el Grupos de Sistemas Electrónicos de Potencia de la Universidad Carlos III de Madrid, donde desarrollo actividades en temas como los convertidores para transferencia de energía sin contacto y las aplicaciones educativas del control digital de convertidores de potencia.



Cristina Fernández recibió los títulos de Ingeniero Industrial y Doctor Ingeniero Industrial por Universidad Politécnica de Madrid (UPM) en 1998 y 2004 respectivamente. Desde 1997 a 2003 fue investigadora en la UPM. Desde 2003 forma parte del Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad Carlos III de Madrid. Desarrolla sus actividades investigadoras en el Grupo de Sistema Electrónicos de Potencia, dirigidas a los convertidores para transferencia de energía sin contacto, modelado de sistemas electrónicos de potencia, convertidores modulares y aplicaciones didácticas en ingeniería electrónica. Actualmente es Editora Asociada de IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS y IEEE JOURNAL ON EMERGING AND SELECTED TOPICS IN POWER ELECTRONICS.



Andrés Barrado nació en Badajoz, España, en 1968. Obtuvo el título de Ingeniero Industrial por la Universidad Politécnica de Madrid en 1994, y el título de Doctor por la Universidad Carlos III de Madrid en 2000. Actualmente es Catedrático de Tecnología Electrónica en la Universidad Carlos III de Madrid, y desde el año 2004 dirige el Grupo de Sistema Electrónicos de Potencia. Sus actividades investigadoras se centran en las fuentes de alimentación conmutadas, corrección del factor de potencia, acondicionamiento para energía solar y pilas de combustible, modelado comportamental de convertidores y sistemas de potencia, vehículos con pilas de combustible (FCEV) y sistemas de distribución de potencia para aeronaves.

Capítulo 12

Una Revisión Sistemática del Uso de la Taxonomía de Bloom en la Enseñanza de la Informática

Susana Masapanta-Carrión y J. Ángel Velázquez-Iturbide, *Senior Member, IEEE*

Title— A Systematic Review of the Use of Bloom's Taxonomy in Computer Science Education.

Abstract— Bloom's taxonomy is a model that allows classifying the expected outcomes in students' learning progress. Its use is common in computer science education, but it is not free of difficulties. A systematic review is presented to achieve an overall view of the use of taxonomy in computer science. Among the results, we may highlight that it is mostly used in programming education and assessment of student's performance. There are frequent difficulties in the use of taxonomy, mainly in the classification of assessment's activities at some level of the taxonomy. Together with these difficulties, we present an analysis of the plausible causes of these difficulties and the solutions adopted by authors.

Keywords— Bloom's taxonomy, ccomputer science education, programming education, systematic review.

Abstract— La taxonomía de Bloom es un modelo que permite clasificar el grado de aprendizaje que se espera que alcancen los alumnos. Es frecuente su uso para el aprendizaje de la informática, pero no está exento de dificultades. Se presenta una revisión sistemática realizada para tener una visión amplia del uso de la taxonomía en informática. Entre los resultados, destaca su uso preferente para aprendizaje de la programación y para evaluar la actividad de los alumnos. Son frecuentes las dificultades para usar la taxonomía, principalmente al intentar clasificar actividades de evaluación en algún nivel de la taxonomía. Junto a estas dificultades, presentamos un análisis de sus posibles causas y las soluciones adoptadas por los autores.

Keywords— Taxonomía de Bloom, enseñanza de la informática, enseñanza de la programación, revisión sistemática.

Este trabajo fue presentado originalmente en el XIX Simposio Internacional de Informática Educativa(SIIE)-VIII Reunión CIED / III Reunión Internacional CIED (SIIE-CIDE 2017)

Este trabajo se ha financiado con los proyectos de investigación TIN2015-66731-C2-1-R del Ministerio de Economía y Competitividad, S2013/ICE-2715 de la Comunidad Autónoma de Madrid, y 30VCP1G15 de la Universidad Rey Juan Carlos.

I. INTRODUCCIÓN

La taxonomía de Bloom es un modelo que permite clasificar el grado de aprendizaje que se espera que alcancen los alumnos. La taxonomía distingue seis niveles de aprendizaje. La versión original de la taxonomía [1] establece una relación jerárquica entre los niveles. La versión revisada de la taxonomía [2] no establece una relación jerárquica estricta entre los niveles y distingue dos dimensiones. La dimensión del proceso cognitivo es similar a la clasificación original, mientras que la dimensión de conocimiento clasifica el tipo de conocimiento que se espera que adquiera el alumno.

La taxonomía de Bloom es probablemente la taxonomía educativa más usada en la universidad para especificar objetivos de aprendizaje de informática. Incluso las recomendaciones curriculares de ACM/IEEE especifican los objetivos de aprendizaje mediante la versión revisada de la taxonomía de Bloom (de forma más fiel en la versión de 2008 [3] y de forma muy simplificada en la versión de 2013 [4]).

Sin embargo, diversos autores informan de que su uso tiene aspectos problemáticos. Por ejemplo, es corriente que distintos profesores clasifiquen un mismo ejercicio en distintos niveles de la taxonomía. Por esta razón, se creó un grupo de trabajo en el congreso ITiCSE 2007. En su informe final [5], el grupo revisa la literatura sobre diferentes taxonomías educativas, su uso en informática y problemas que surgen. También proponen una nueva taxonomía que pueda ser utilizada en asignaturas de programación. Sin embargo, la revisión de problemas de uso de la taxonomía no es exhaustiva.

Britto y Usman también realizan una revisión sistemática del uso de la taxonomía de Bloom, en este caso para el aprendizaje de la ingeniería del software [6]. Sin embargo, su análisis es descriptivo, sin profundizar excesivamente, al menos en las dificultades de uso de la taxonomía. El objetivo del presente trabajo es profundizar en el análisis de dichas

Susana Masapanta-Carrión es profesora en la Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador (phone +593 2 299 16 20; e-mail: smmasapanta@puce.edu.ec).

J. Ángel Velázquez-Iturbide es profesor del Departamento de Informática y Estadística, Universidad Rey Juan Carlos, 28933 Móstoles, Madrid, España (phone: +34 91 664 74 54; fax: +34 91 488 85 30; e-mail: angel.velazquez@urjc.es).

dificultades, también mediante una revisión sistemática.

La estructura de la comunicación es la siguiente. En la sección II se presenta la metodología utilizada para realizar la revisión sistemática. La sección III presenta las respuestas a las preguntas de la investigación tras analizar los artículos encontrados. En la sección IV se presenta un breve debate de los hallazgos y en la sección V se exponen nuestras conclusiones.

II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección se detalla el proceso que se siguió para la revisión sistemática, incluyendo las preguntas de investigación, las fuentes de información, los términos de búsqueda, criterios de selección y la metodología de análisis. Se tomó como guía algunas de las pautas utilizadas por Bárbara Kitchenham [7].

A. Preguntas de Investigación

Se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

- 1) ¿Qué versión se utiliza de la taxonomía de Bloom?
 - 2) ¿Se utiliza alguna otra taxonomía de aprendizaje?
 - 3) ¿En qué materias se utiliza la taxonomía de Bloom?
 - 4) ¿Para qué se utiliza la taxonomía de Bloom?
 - 5) ¿Se comenta alguna dificultad de uso de la taxonomía?
- En caso afirmativo, ¿qué dificultades encontraron?

B. Fuentes de Información

La búsqueda se centró en las revistas y los congresos más relevantes en la enseñanza de la Informática. Aun al riesgo de excluir algunas publicaciones interesantes, era de esperar que los resultados obtenidos serían claramente representativos del uso de Bloom en la enseñanza de la informática. Se seleccionaron revistas y congresos de prestigio de enseñanza de la informática patrocinados por SIGCSE, más la revista CSE:

- *Computer Science Education* (CSE).
- *Transactions on Computing Education* (TOCE).
- *ACM Conference on International Computing Education Research* (ICER).
- *ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (SIGCSE).
- *ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education* (ITiCSE).
- *Australasian Computing Education Conference* (ACE).
- *International Conference on Computing Education Research* (Koli Calling).

C. Términos de Búsqueda

Los términos de búsqueda se seleccionaron teniendo en cuenta el uso de la taxonomía de Bloom en informática y en programación, así como que podría haber las distintas formas de referirse a la taxonomía de Bloom. La cadena de búsqueda utilizada fue:

("Bloom's taxonomy" OR "Bloom taxonomy" OR
"cognitive taxonomy")
AND
(programming OR "computer science")

Para la revista *Computer Science Education* se buscó en la versión online de Tylor & Francis y para el resto de revistas

y congresos se buscó dentro de la biblioteca digital de ACM.

D. Criterios de Selección

La búsqueda con la cadena presentada anteriormente produjo un resultado de 314 artículos, no todos ellos útiles. Por tanto, se aplicaron criterios de exclusión e inclusión para determinar los artículos más relevantes. El proceso de selección se realizó en tres etapas:

- 1) Se eliminaron los artículos duplicados, así como resultados que correspondían a volúmenes de actas de congresos, pero no contenían ninguna comunicación. Como resultado, quedaron 306 artículos.
- 2) Se aplicaron los siguientes criterios de inclusión: (a) que en el resumen del artículo haga referencia al uso de la taxonomía de Bloom, o (b) que en las palabras clave se encuentre "taxonomía de Bloom" o "Bloom". El número de artículos se redujo a 45.
- 3) Finalmente hubo un segundo proceso de exclusión debido a que, al comenzar el análisis de los 45 artículos se observó que algunos trabajos provenían de una misma investigación, sólo que quizá presentado de forma distinta (p.ej. uno es más largo y otro más resumido). Se decidió conservar el artículo que brindara más detalles para esta investigación. Quedaron 40 artículos.

La Tabla I resume el proceso descrito, con las cifras de publicaciones resultantes en cada paso. La lista de los 40 artículos finalmente seleccionados puede encontrarse en un informe técnico [8].

E. Metodología de Análisis

La pregunta 1 sólo admitía dos respuestas (taxonomía original o revisada), por lo que simplemente se contaron las respuestas obtenidas. Algo similar sucede con la pregunta 2. Sin embargo, las preguntas 3-5 admitían una gran variedad de respuestas, por lo que se realizó un análisis cualitativo de las mismas (más simple para la pregunta 3).

Se elaboró una matriz para registrar los comentarios de dificultades de uso de la taxonomía encontrados en los 40 artículos seleccionados. Al analizar cada artículo, solamente se tuvieron en cuenta los comentarios propios de sus autores, no las citas de otros investigadores.

El análisis cualitativo se realizó sin partir de categorías preestablecidas, como preconiza la *grounded theory* [9], y a través de numerosas iteraciones. Sin entrar en detalle de todas las iteraciones realizadas, podemos agruparlas en dos etapas:

- 1) Las dificultades se dividieron en dificultades internas de la taxonomía (inherentes a la taxonomía) y externas (relacionadas con el uso de la taxonomía). A su vez, cada categoría incluía varias subcategorías. Sin embargo, esta

TABLA I
RESULTADOS DE BÚSQUEDA Y APLICACIÓN DE CRITERIOS DE SELECCIÓN

Fuente de información	Número de artículos			
	Encontrados	Sin duplicados	Satisfacen criterios de inclusión	Sin similares
CSE	7	7	7	6
TOCE	17	17	1	1
ICER	42	39	5	5
SIGCSE	119	117	13	11
ITiCSE	86	85	11	10
ACE	30	29	7	6
Koli Calling	13	12	1	1
Total	314	306	45	40

forma de analizar no resultó un instrumento claro de clasificación de los comentarios, con frecuente incertidumbre sobre la subcategoría donde mejor encajaba una dificultad. Finalmente, se descartó esta clasificación.

- 2) Se distinguió si cada comentario era una expresión de una dificultad, una causa de la misma señalada por los autores o una solución adoptada por éstos. Esta clasificación permitió mayor precisión de clasificación, por lo que se adoptó.

A su vez, cada etapa incluyó diversas iteraciones, con frecuentes idas y venidas entre los artículos. La mayor parte de las iteraciones de análisis fue realizada por la primera autora, aunque el segundo autor también realizó varias. El proceso de análisis terminó tras llegar a un consenso.

III. RESULTADOS

Presentamos los resultados divididos en dos partes: resultados de las preguntas sin categorización y resultados de las respuestas para las cuales se crearon categorías.

A. Resultados de las preguntas sin categorización

La primera pregunta indagaba sobre la versión utilizada de la taxonomía de Bloom. La taxonomía original fue utilizada en el 75% de los artículos, mientras que el 25% restante utilizó la taxonomía revisada (véase Tabla II).

La segunda pregunta pretendía averiguar si también se utilizaban otras taxonomías. En la Tabla III puede comprobarse que la mayor parte de los artículos usaron exclusivamente la taxonomía de Bloom (85%). Otros usaron la taxonomía SOLO [10], bien tras descartar el uso de Bloom (10%) bien en combinación con la taxonomía de Bloom (5%).

B. Resultados de las preguntas con categorización

Para la presentación de los resultados a las tres preguntas con categorización hay que tener en cuenta que hay artículos donde no encontramos ninguna respuesta o encontramos más de una. Por tanto, el total de respuestas contabilizadas para cada pregunta no coincide con el número de artículos seleccionados (40). Por ejemplo, en un mismo artículo podemos encontrar una o más causas de las dificultades señaladas por los autores al usar Bloom, pero ninguna solución.

1) Materias donde se utilizó la taxonomía de Bloom

Al analizar en qué materias se utilizó la taxonomía de Bloom, se observó que cada artículo informaba normalmente de su uso en una sola asignatura. Sin embargo, dos artículos informaban de su uso en tres materias. En total, el número de

materias contabilizadas llega a 43. Los resultados se muestran en la Tabla IV.

La categoría “Programación en primer año” agrupa diversas denominaciones de la asignatura de primer curso de introducción a la programación (CS1, Introducción a la programación procedimental, Introducción a la programación orientada a objetos). Si las desglosamos por el paradigma de programación usado, se obtienen los resultados de la Tabla V.

En “Otras asignaturas de programación” se categorizaron asignaturas de lenguajes de programación y de programación funcional. “Ingeniería del Software” agrupa cuatro artículos relacionados con ingeniería de software en general y uno relacionado con ingeniería de requisitos. En “Otras materias de informática” se incluyen asignaturas de bases de datos, redes, seguridad e interacción persona-ordenador.

En definitiva, la taxonomía de Bloom se usa principalmente en el nivel educativo universitario. La categoría “Nivel preuniversitario” agrupa aquellos trabajos realizados en primaria o secundaria, incluido el examen *AP Computer Science*, de estudiantes de bachillerato.

2) Usos de la taxonomía de Bloom

Se analizó el uso que los autores hacían de la taxonomía de Bloom. Uno de los artículos informa de dos fines, lo que da un total de 41 usos (véase la Tabla VI).

Casi la mitad de los artículos (46%) han utilizado la taxonomía de Bloom para actividades de evaluación de los alumnos. Por otro lado, son numerosos los artículos que mencionan que han usado o se han basado en la taxonomía de Bloom, pero sin aclarar para qué o cómo (37%).

A continuación, se describen las categorías de uso y sus subcategorías:

- Evaluar a los alumnos (19 artículos). la taxonomía se usa para medir los conocimientos del alumno en una asignatura. Esta categoría integra tres subcategorías:
 - a) Desarrollar preguntas o problemas situadas en ciertos niveles cognitivos.
 - b) Clasificar preguntas o problemas ya desarrollados en niveles cognitivos.
 - c) Clasificar el aprendizaje de los alumnos. Se clasifica el rendimiento académico de los alumnos en niveles de la taxonomía de Bloom.
- Planificar la actividad docente (2 artículos). Se usa la taxonomía de Bloom para planificar la actividad docente de una asignatura de forma que mejore el aprendizaje de los alumnos.

TABLA IV
MATERIAS DONDE SE UTILIZÓ LA TAXONOMÍA DE BLOOM

Materia	Núm.	Porcentaje
Programación en primer año	23	54%
Estructuras de datos y algoritmos	4	9%
Otras asignaturas de programación	3	7%
Ingeniería del software	5	12%
Otras materias de informática	4	9%
Nivel preuniversitario	4	9%
Total	43	100%

TABLA V
PARADIGMA DE PROGRAMACIÓN USADO EN PRIMER CURSO

Paradigma de programación	Núm.	Porcentaje
Programación procedimental	6	26%
Programación orientada a objetos	7	30%
Indeterminado	10	44%
Total	23	100%

TABLA II
VERSIÓN UTILIZADA DE LA TAXONOMÍA DE BLOOM

Versión utilizada	Núm. artículos	Porcentaje
Versión original	30	75%
Versión revisada	10	25%
Total	40	100%

TABLA III
USO DE OTRA TAXONOMÍA

Taxonomías utilizadas	Núm. artículos	Porcentaje
Taxonomía de Bloom	34	85%
Taxonomía de SOLO	4	10%
Taxonomías de Bloom y SOLO	2	5%
Total	40	100%

TABLA VI
USOS DE LA TAXONOMÍA DE BLOOM

Categorías de uso	Subcategorías	Núm.	Total categoría	%
Evaluar a los alumnos	Desarrollar preguntas	10	19	46%
	Clasificar preguntas	7		
	Clasificar aprendizaje	2		
Planificar la actividad docente	—	2	2	5%
Especificar objetivos de aprendizaje	—	2	2	5%
Otros	Crear una nueva taxonomía	2	3	7%
	Desarrollar software educativo	1		
Indeterminado	—	15	15	37%
Total		41	41	100%

- Especificar o clasificar los objetivos de aprendizaje de una asignatura (2 artículos).
- Otros (3 artículos):
 - a) Crear una nueva taxonomía. Se modifica para obtener a una nueva taxonomía, más adecuada para la informática.
 - b) Desarrollar software educativo. Se usa como base para el desarrollo de un tutorial para aprender a usar la propia taxonomía de Bloom.
- Indeterminado (15 artículos). Señalan el uso de la taxonomía de Bloom, pero sin dar más detalles. En algunos casos, sólo es mencionada.

3) Dificultades de uso de la taxonomía de Bloom

Al analizar las dificultades de uso de la taxonomía, solamente 15 artículos (38%) indican que los investigadores tuvieron dificultades.

Veamos las dificultades señaladas por los autores de estos 15 artículos. Primero presentamos las dificultades identificadas, luego sus posibles causas y por último las soluciones adoptadas.

En tres artículos se encontraron dos dificultades con lo que el número de dificultades contabilizadas llega a 18. Se distinguieron cuatro clases de dificultades (véase Tabla VII), siendo más frecuente la dificultad para clasificar los objetivos de aprendizaje o las tareas de evaluación en los niveles de la taxonomía (77%).

La descripción de las categorías sigue a continuación:

- Dificultad en clasificar los objetivos o las tareas de evaluación. Se encuentran problemas al tratar de determinar en qué nivel de la taxonomía debería estar un objetivo, un contenido o una pregunta de evaluación. Como ejemplo de comentario que explica esta dificultad, tenemos el realizado por Whalley *et al.* [11]: “categorizar las preguntas de programación por su complejidad cognitiva aplicando la taxonomía de

Bloom ha demostrado ser un desafío incluso para un grupo experimentado de educadores de programación”.

- Dificultad en especificar de forma precisa el conocimiento objeto de cada objetivo de aprendizaje o prueba de evaluación. El problema surge cuando el profesor va cambiando sin advertirlo entre conceptos relacionados, pero entre los que hay ciertas diferencias. Por ejemplo, Starr *et al.* [12] advierten del cambio entre “iteración” y “bucle for”.
- Dificultad en medir el progreso del alumno. Es difícil ver si el proceso cognitivo de los alumnos para resolver un problema progresa, por ejemplo, ascendiendo en los niveles de la taxonomía. Como ejemplo, Meerbaum-Salant *et al.* [13] comentan que “queríamos trabajar con una taxonomía estrictamente jerárquica que permitiera controlar el progreso del estudiante, pero que coincidiera con el contexto del estudio y sus objetivos”.
- Dificultad en comprender la taxonomía. La dificultad surge al tener dudas sobre la interpretación de algunos de los términos de la taxonomía en un ambiente informático. Un ejemplo es el comentado por Thompson *et al.* [14], que explica que es difícil aclarar lo que significa “aplicar un proceso” o “crear un proceso” al usar la taxonomía revisada en programación.

a) Causas de las dificultades

Los autores también señalan posibles causas de las dificultades identificadas al usar la taxonomía de Bloom. Tras su análisis se determinaron cinco categorías (véase la Tabla VIII). En este caso, no hay una categoría mayoritaria, sino que se señalan cuatro causas principales: necesidad de conocer el contexto educativo, la estructura de la taxonomía, la terminología de la taxonomía, y la comprensión de la taxonomía.

A su vez, estas categorías incluyen subcategorías, como se detalla a continuación:

- Necesidad de conocer el contexto educativo. Los autores comentan que el desconocimiento de la forma como se enseñó a los alumnos el contenido a evaluar dificulta su clasificación en niveles. Por ejemplo, así lo expresan Gluga *et al.* [15] al destacar “la estrecha dependencia del conocimiento del contexto de la enseñanza para clasificar correctamente las preguntas del examen con Bloom”. Esta categoría contiene dos subcategorías:

TABLA VII
DIFICULTADES DE USO DE LA TAXONOMÍA DE BLOOM

Dificultades	Núm. artículos	Porcentaje
Clasificar los objetivos o las tareas de evaluación	14	77%
Especificar de forma precisa el conocimiento objeto de cada objetivo de aprendizaje o prueba de evaluación	2	11%
Medir el progreso del alumno	1	6%
Comprensión de la taxonomía	1	6%
Total	18	100%

TABLA VIII
CAUSAS DE LAS DIFICULTADES DE USO DE LA TAXONOMÍA DE BLOOM

Causas	Subcategoría	Núm.	Total	%
Necesidad de conocer el contexto educativo	Distinto esfuerzo cognitivo del alumno	4	8	31%
	Conocer la forma de enseñar el contenido	4		
	Conjunto incompleto o inadecuado	5		
Limitaciones de la taxonomía	Conjunto solapado	1	7	27%
	Concebida para evaluar y no para especificar objetivos	1		
Terminología	Terminología extraña	2	5	19%
	Falta de ejemplos	3		
Comprensión deficiente de la taxonomía	Conocimiento superficial	3	5	19%
	Distinta comprensión según su experiencia	1		
	Su uso requiere un notable esfuerzo de memoria	1		
Complejidad de la Informática	–	1	1	4%
TOTAL		26	26	100%

- a) Los alumnos pueden realizar distinto esfuerzo cognitivo para resolver un mismo ejercicio, ya que pueden razonar de diferentes maneras para resolver un mismo ejercicio y estas maneras pueden estar en diferentes niveles de la taxonomía.
- b) Conocer la forma de enseñar el contenido. La manera en que se enseñe al alumno influye en la manera en que responderá en la evaluación y esta respuesta puede ser clasificada en un nivel de la taxonomía diferente del usado para instruir.
- Limitaciones de la taxonomía. Corresponde a aquellas causas que son inherentes a la taxonomía, como su definición o su estructura. Incluye tres subcategorías:
 - a) Conjunto incompleto o inadecuado de niveles para las tareas de programación. Los niveles de la taxonomía difícilmente se adaptan a los conceptos y tareas requeridas en programación [11].
 - b) Conjunto solapado de niveles. Los niveles no están bien diferenciados entre ellos, lo que produce que una pregunta o un contenido pueda ser categorizado en varios niveles alternativos.
 - c) Concebida para evaluar y no para especificar objetivos. La taxonomía de Bloom fue creada con el fin de evaluar.
- Terminología. La terminología utilizada en informática, en especial aquella que se usa en programación, tiene diferente connotación de la utilizada en la taxonomía de Bloom. A su vez, podemos distinguir entre:
 - a) Terminología extraña para programación.
 - b) Falta de ejemplos de cómo usar la taxonomía en informática.
- Comprensión deficiente de la taxonomía. Las dificultades pueden deberse a malentendidos de los profesores sobre el significado de los niveles. Las subcategorías son:
 - a) Conocimiento superficial. Incluye las creencias y las ideas preconcebidas que tienen los profesores sobre el significado de los niveles.
 - b) Distinta comprensión según su distinta experiencia. La interpretación de cada nivel de la taxonomía, así como el esfuerzo cognitivo, son diferentes en un educador inexperto que en uno con experiencia. Las dificultades surgen cuando en un mismo grupo de evaluación existen educadores con distinta experiencia.
 - c) El uso de la taxonomía requiere un notable esfuerzo de memorización de sus niveles.
- Complejidad de la informática. La dificultad del nivel cognitivo no solo viene dada por el contenido en estudio sino también por la herramienta que se use. Si bien las herramientas pueden tener el mismo fin, su complejidad puede variar, por lo que pueden clasificarse en distintos niveles de la taxonomía.

b) Soluciones encontradas para las dificultades

Identificamos las soluciones que los autores plantean para solventar sus dificultades. Se determinaron seis categorías de soluciones (véase la Tabla IX). Encontramos 4 artículos sin soluciones, 3 artículos con 2 soluciones y 1 artículo con 3. La solución más frecuente es dar pautas de aplicación (38%).

- Dar pautas de aplicación. Los autores optaron por dar dos tipos de guías: tomar decisiones sobre el nivel al que corresponde una clase de ejercicio de programación, o interpretar los términos de la taxonomía e indicar cómo emplearlos en informática.
- Formación. Capacitar en el uso de la taxonomía.
- Ampliar la taxonomía. Son tres las soluciones que forman esta categoría: ampliar la taxonomía con otras dimensiones (como complejidad y dificultad), añadir un nivel de aplicación superior y utilizarla conjuntamente con la taxonomía SOLO.
- Cambiar la terminología. Recomiendan usar términos relacionados con la informática para cada uno de los niveles de la taxonomía.
- Conocer el contexto educativo. Saber el contexto de la pregunta dentro de enseñanza de una asignatura.

TABLA IX
SOLUCIONES PROPUESTAS FRENTE A LAS DIFICULTADES ENCONTRADAS

Soluciones	Núm.	%
Dar pautas de aplicación	6	38%
Formación	3	19%
Ampliar la taxonomía	3	19%
Cambiar la terminología	2	12%
Conocer el contexto educativo	1	6%
Determinar el nivel cognitivo que usarán los alumnos	1	6%
Total	16	100%

- Determinar el nivel cognitivo que usarán los alumnos. Proponen suponer el nivel cognitivo alcanzado por la mayoría de los alumnos en el contenido de la asignatura.

IV. DISCUSIÓN

Algunos resultados de la revisión sistemática coinciden con un trabajo nuestro anterior [16], así como con los del grupo de trabajo de Fuller *et al.* [5], pero la visión disponible es mucho más completa. Se ha corroborado que es la taxonomía educativa más usada en informática, principalmente en asignaturas de programación y con el fin de evaluar la actividad de los alumnos.

Un tercio aproximadamente de las publicaciones reconocen el uso de la taxonomía de Bloom, pero no detallan cómo. Asimismo, más de la mitad de los artículos analizados no mencionan haber tenido dificultades. Sin embargo, el resto de artículos reconocen haber tenido graves dificultades, incluso por parte de investigadores experimentados. Ambos hechos plantean la cuestión de si el uso de la taxonomía en los primeros casos no pasa de ser superficial.

La principal dificultad que encontraron los autores fue la clasificación de un objetivo, contenido o prueba en algún nivel cognitivo de la taxonomía. Hubo más disparidad en la identificación de posibles causas, ya que destacan cuatro: necesidad de conocer el contexto de enseñanza, deficiencias de la propia taxonomía, la terminología de la taxonomía y la deficiente comprensión de la misma. Por último, también encontramos una gran diversidad de soluciones propuestas, entre las cuales dar pautas de aplicación es la más frecuente. Aunque la principal dificultad encontrada era previsible, no es evidente cómo afrontar sus causas.

V. CONCLUSIÓN

Hemos presentado de forma detallada una revisión sistemática del uso de la taxonomía de Bloom en la enseñanza de la informática. El panorama encontrado es complejo. Por un lado, la gran frecuencia de uso de la taxonomía permite considerarla una gran herramienta educativa, sobre todo para evaluación de los alumnos. No obstante, la frecuencia de dificultades de uso, así como la gran variedad de causas conjeturadas y de soluciones propuestas, hace que sea difícil encontrar líneas claras de actuación que faciliten a los profesores el uso de la taxonomía. En el futuro inmediato, queremos abordar dos líneas posibles: analizar las características de la taxonomía desde un punto de vista teórico y rediseñar su uso de forma más operativa (que debería validarse experimentalmente).

REFERENCIAS

- [1] B.S. Bloom, M.D. Engelhart, E.J. Furst, W.H. Hill y D.R. Krathwohl, *Taxonomy of Educational Objectives: Handbook I: Cognitive Domain*, Longmans Group Ltd, 1956
- [2] L.W. Anderson, D.R. Krathwohl, P.W. Airasian, K.A. Cruikshank, R.E. Mayer, P.R. Pintrich, R. Raths y M.C. Wittrock, *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing. A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*, Addison-Wesley Longman, 2001
- [3] CS2008 Review Taskforce, *Computer Science Curriculum 2008: An Interim Revision of CS 2001*, ACM & IEEE Computer Society. Recuperado el 24 de abril de 2017 en <http://www.acm.org/education/curricula/ComputerScience2008.pdf>.
- [4] The Joint Task Force on Computing Curricula, *Computer Science Curricula 2013 – Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Science*, ACM & IEEE Computer Society. Recuperado el 24 de abril de 2017 en <http://www.acm.org/education/CS2013-final-report.pdf>.
- [5] U. Fuller, C.G. Johnson, T. Ahoniemi, D. Cukierman, I. Hernán-Losada, J. Jackova, E. Lahtinen, T.L. Lewis, D.M. Thompson, C. Riedesel and E. Thompson, "Developing a computer science-specific learning taxonomy," en *ITiCSE-WGR '07 Working Group Reports*, 2007, pp. 152-170, ACM DL, DOI [10.1145/1345443.1345438](https://doi.org/10.1145/1345443.1345438).
- [6] R. Brito and M. Usman, "Bloom's taxonomy in software engineering education: A systematic mapping study," en *Proceedings of the Frontiers in Education Conference (FIE 2015)*, IEEE Xplore, DOI [10.1109/FIE.2015.7344084](https://doi.org/10.1109/FIE.2015.7344084).
- [7] B. Kitchenham, "Procedures for performing systematic reviews," Technical Report TR/SE-0401, Keele University, 2004. Recuperado el 24 de abril de 2017 en <http://www.inf.ufsc.br/~aldo.vw/kitchenham.pdf>.
- [8] S. Masapanta Carrión y J. Á. Velázquez Iturbide, "Una revisión sistemática del uso de la taxonomía de Bloom en la enseñanza de la informática," Serie de Informes Técnicos DLSI1-URJC, no. 2017-02, Universidad Rey Juan Carlos, 2017.
- [9] B.G. Glaser and A.L. Strauss. *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*, Transaction Publishers, 2009.
- [10] J.B. Biggs, and K.F. Collis, *Evaluating the Quality of Learning: The SOLO Taxonomy (Structure of the Observed Learning Outcome)*, Academic Press, 1982
- [11] J.L. Whalley, R. Lister, E. Thompson, T. Clear, P. Robbins, P.K. Kumar and C. Prasad, "An Australasian study of reading and comprehension skills in novice programmers, using the bloom and SOLO taxonomies," en *Proceedings of the 8th Australasian Conference on Computing Education*, 2006, pp. 243-252.
- [12] C.W. Starr, B. Manaris and R.H. Stalvey, "Bloom's taxonomy revisited: specifying assessable learning objectives in computer science," en *Proceedings of the 39th SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education*, 2008, pp. 261-265, DOI [10.1145/1352135.1352227](https://doi.org/10.1145/1352135.1352227).
- [13] O. Meerbaum-Salant, M. Armoni and M. Ben-Ari, "Learning computer science concepts with Scratch," en *Proceedings of the Sixth International Workshop on Computing Education Research (ICER'10)*, 2010, pp. 69-76, DOI [10.1145/1839594.1839607](https://doi.org/10.1145/1839594.1839607).
- [14] E. Thompson, A. Luxton-Reilly, J.L. Whalley, M. Hu and P. Robbins, "Bloom's taxonomy for CS assessment," en *Proceedings of the Tenth Conference on Australasian Computing Education*, 2008, pp. 155-161.
- [15] R. Gluga, J. Kay, R. Lister, S. Kleitman and T. Lever, "Overconfidence and confusion in using Bloom for programming fundamentals assessment," en *Proc. 43rd ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 2012, pp 147-152, DOI [10.1145/2157136.2157171](https://doi.org/10.1145/2157136.2157171).
- [16] I. Hernán-Losada, C.A. Lázaro-Carrascosa y J.Á. Velázquez-Iturbide, "On the use of Bloom's taxonomy as a basis to design educational software on programming," en *Engineering Education in the Changing Society*, C. da Rocha Brito y M.M. Ciampi (eds.), COPEC, 2004, pp. 351-355. Recuperado el 24 de abril de 2017 en <http://copec.eu/congresses/wcete2004/>.



Susana Masapanta Carrión nació en Quito, Ecuador. Recibió el grado de Ingeniera de Sistemas y Computación en 2002 y el de magister en Arquitectura de la Información en 2010, ambos en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador - PUCE. Ella es profesora titular en la Facultad de Ingeniería de la misma universidad. Ha participado en proyectos de investigación para la PUCE. Actualmente es estudiante del Doctorado en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de la Universidad Rey Juan Carlos, España. Su interés investigador se centra en la aplicación de las TIC en la educación.



J. Ángel Velázquez Iturbide recibió los títulos de Licenciado y de Doctor en Informática por la Universidad Politécnica de Madrid, España, en los años 1985 y 1990, respectivamente. Actualmente es Catedrático de Universidad en la Universidad Rey Juan Carlos, donde también es el Director del Laboratorio de Tecnologías de la Información para la Educación (LITE, <http://www.lite.etsii.urjc.es/>). Sus áreas de investigación son *software* y metodologías docentes para la enseñanza de la programación y la visualización del *software*. Actualmente, es Presidente de la Asociación para el Desarrollo de la Informática Educativa (ADIE). Es miembro senior de IEEE (IEEE *Computer Society* e IEEE *Education Society*) y de ACM (y ACM SIGCSE).

Página en Blanco

Capítulo 13

Herramienta de Visualización de Programas SRec: Un Estudio de la Autoeficacia del Estudiante

Maximiliano Paredes-Velasco, Isidoro Hernán-Losada, J. Ángel Velázquez-Iturbide, Carlos-María Alcover

Title—SRec program visualization system: Studying student's self-efficacy.

Abstract— Learning to program is a complex and hard task. Program visualizations can assist students in learning programming, in particular in learning recursion. The SRec visualization system generates and allows students interacting with the recursion tree associated to given input data, assisting him/her in understanding the recursive process. This paper shows an experience with students in learning recursion, where the effect of the SRec system on students' self-efficacy and learning efficacy is analysed. A total of 95 computer science students participated in the experience. The authors found that students who used SRec scored higher than students who used an IDE (Integrated Development Environment) in recursion learning.

Keywords— Self-efficacy; Motivation; Programs Visualization; Algorithm designing; Recursion

Abstract— El aprendizaje de la programación es un proceso complejo y difícil, al cual pueden ayudar las visualizaciones de la ejecución de programas. En concreto, esta situación se da en el aprendizaje de la recursividad. El sistema SRec genera y permite interactuar con el árbol de recursión correspondiente a cualquier ejecución, ayudando al estudiante a entender el proceso recursivo. En este artículo presentamos una experiencia con estudiantes en el aprendizaje de la recursividad, a partir de la cual hemos analizado el efecto del uso del sistema SRec en la autoeficacia y eficacia del aprendizaje de los estudiantes. En la experiencia participaron 95 estudiantes de informática y los resultados indicaron que los estudiantes que utilizaron SRec tuvieron mejores

puntuaciones de recursividad que los que usaron un entorno integrado de desarrollo.

I. INTRODUCCIÓN

EN los grados de ingeniería de informática, los estudiantes presentan dificultades para aprender algunas de las asignaturas más técnicas y específicas de la carrera, como son las asignaturas de introducción a la programación y de algoritmia. Este hecho genera mucha desmotivación entre los estudiantes, llegando incluso a producir el abandono de sus estudios de informática [1]. La mayoría de los planes de estudio de las carreras de informática ofertan la asignatura de algoritmia en segundo curso, una vez que se han cursado las asignaturas de introducción a la programación. En la asignatura de algoritmia se estudia principalmente la complejidad algorítmica y técnicas de diseño de algoritmos como divide y vencerás, algoritmos voraces y vuelta atrás. Aunque estos temas son específicos de programación y por tanto deberían captar la atención e ilusión del estudiante, en general ocurre lo contrario. El estudiante encuentra demasiada complejidad en los mismos y en consecuencia se desmotiva.

La motivación precisamente es un aspecto esencial del aprendizaje de la programación, y en particular la autoeficacia, entendiendo ésta como la percepción que tenemos nosotros mismos sobre nuestras capacidades. En este artículo presentamos una experiencia realizada con estudiantes en el aula en la asignatura “Diseño y Análisis de Algoritmos” en la que estudiamos la autoeficacia en el aprendizaje de la programación de algoritmos de divide y vencerás. El objetivo es analizar el efecto de una herramienta interactiva de visualización de algoritmos recursivos sobre la autoeficacia del estudiante y sobre su eficacia para aprender los conceptos de recursividad y del esquema de divide y vencerás.

J. Ángel Velázquez-Iturbide es profesor en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática de la Universidad Rey Juan Carlos, 28933 Móstoles, Madrid, [España{Angel.velazquez@urjc.es}](mailto:Angel.velazquez@urjc.es)

Carlos María-Alcover es profesor de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Rey Juan Carlos, 28933, Móstoles, Madrid, España [{Carlosmaria.alcover@urjc.es}](mailto:Carlosmaria.alcover@urjc.es)

Este trabajo fue presentado originalmente al CONGRESO IX INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTERS IN EDUCATION (SIEE 2017),

Maximiliano Paredes-Velasco es profesor en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática de la Universidad Rey Juan Carlos, 28933 Móstoles, Madrid, [España{Maximiliano.paredes@urjc.es}](mailto:Maximiliano.paredes@urjc.es)

Isidoro Hernán-Losada es profesor en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática de la Universidad Rey Juan Carlos, 28933 Móstoles, Madrid, [España{Isidoro.hernan@urjc.es}](mailto:Isidoro.hernan@urjc.es)

En la sección II del artículo se presenta una introducción a la autoeficacia desde el punto de vista de la educación, para posteriormente en la sección III describir la experiencia realizada. En las secciones IV y V se presentan los resultados de la investigación y discusión respectivamente finalizando el artículo con las conclusiones en la sección VI.

II. AUTOEFICACIA

Dentro del marco de la Teoría Cognitiva Social [2] el término “autoeficacia” se define como la creencia que tenemos en nuestras propias capacidades para organizar y ejecutar los cursos de acción necesarios para alcanzar objetivos o logros futuros [3]. La autoeficacia se genera a partir de cuatro fuentes de información que influyen en la sensación de eficacia que tiene el sujeto [3]:

1. Las experiencias previas de éxito o fracaso. El éxito refuerza la creencia en nuestra capacidad personal mientras que situaciones de fracaso las debilita.
2. La experiencia ajena, que es percibida a través del logro de los demás y de compararnos con ellos. Sobrepasar el logro de los demás hace crecer nuestra autoeficacia.
3. La persuasión verbal y realimentación. Aumentamos nuestra confianza si oímos mensajes y opiniones de los demás que expresan confianza en nuestra propia capacidad; y (4) los estados fisiológicos, afectivos o emocionales en los que se encuentra el sujeto.

La autoeficacia constituye un referente importante en la motivación del estudiante en el aprendizaje [4]. Bandura [3] afirma que las creencias de la autoeficacia se pueden trabajar a nivel de tarea o de dominio. Por tanto, el estudio de la autoeficacia desde el dominio particular del aprendizaje puede resultar de gran interés, incluso dentro del propio proceso de aprendizaje, a nivel de subáreas como pueden ser el aprendizaje de la programación o de la algoritmia. Son varios los autores que señalan la importancia de la autoeficacia en el aprendizaje de la informática y del uso del computador. Compeau y Higgins [5] definen la autoeficacia en el uso de computadores (*computer self-efficacy*) como la creencia de la capacidad de uno mismo para usar el computador. Estos autores señalan que los sujetos con poca confianza en sus habilidades para usar los computadores pueden llevar a cabo peor tareas con computadores y [6] señala que la autoeficacia puede ser un factor muy importante para la adquisición de habilidades en el uso de computadores.

La autoeficacia puede hacer que el estudiante invierta pequeños esfuerzos en aprender nuevos conceptos de informática [7], mejorando así la eficacia del aprendizaje. Como consecuencia de la importancia que tiene la autoeficacia en el aprendizaje, son muchos los estudios y trabajos que se han llevado a cabo sobre la misma. En un análisis bibliométrico [8] realizado desde el año 2006 a 2015, ya tan solo en revistas, se recogen más de 81 publicaciones de trabajos de autoeficacia en entornos de aprendizaje basados en computador. Sin embargo, aunque es prolija la investigación en esta línea no hay una definición clara que constata la aportación y mejora de la relación del uso del computador con la autoeficacia, y menos aún en el aprendizaje de la programación. Si bien hay trabajos que señalan la correlación de la autoeficacia con el aprendizaje de la programación [9-11], otras investigaciones no son

concluyentes y dejan abiertas líneas exploratorias en este campo. San y sus colegas [7] no encontraron relación entre la autoeficacia y el uso de Internet en las tareas de aprendizaje, enfatizando además la necesidad de integrar correctamente el computador en la tarea para mejorar la autoeficacia. En el contexto del aprendizaje de programación Java, Jedege [12] no encontró relación de mejora entre la autoeficacia y las experiencias previas de programación ni entre la autoeficacia y el uso de computadores, y señaló la necesidad de realizar estudios que identifiquen otros factores de la autoeficacia en el aprendizaje de Java, como pueden ser por ejemplo la integración de herramientas específicas para el aprendizaje.

Otros trabajos han intentado mejorar la autoeficacia en el aprendizaje de los conceptos de programación incorporando herramientas de programación visual. Este es el caso, por ejemplo, del uso de Scratch, el cual se combinó con tareas de programación C# [13]. Estos trabajos no identificaron mejoras en la autoeficacia ni en la eficacia de aprendizaje. Sin embargo Quille y Bergin [13] señalaron que la incorporación de herramientas de programación visual podrían mejorar la autoeficacia del estudiante y su progreso del curso, indicando la necesidad de realizar investigaciones al respecto.

En este trabajo exploramos la inclusión de una herramienta de visualización de gráficos en el contexto de su implicación en la autoeficacia y en el avance del aprendizaje.

III. EXPERIENCIA EN EL AULA

Se describe a continuación el contexto y el desarrollo de la experiencia realizada en el entorno del aula con los estudiantes.

A. Asignatura: Diseño y Análisis de Algoritmos

La evaluación se ha realizado en la asignatura “Diseño y Análisis de Algoritmos” de segundo curso de los grados de informática. La asignatura está organizada en dos grandes bloques: (I) eficiencia algorítmica y recursividad, y (II) esquemas algorítmicos (divide y vencerás, voraz, vuelta atrás y ramificación y poda) [14].

B. La Herramienta SRec

SRec es un sistema de visualización de programas que muestra la ejecución de procesos recursivos [15]. Está concebido para ayudar a la docencia de la algoritmia, aunque también puede usarse en asignaturas de programación [16]. El estudiante programa métodos en Java y la herramienta genera varias representaciones gráficas del proceso recursivo: rastros (“trazas”), pila de control y árboles de recursión.

La utilización de la herramienta es muy sencilla. En primer lugar, el estudiante debe cargar el fichero con el código fuente Java, posteriormente seleccionar el método cuyo comportamiento quiere visualizar y posteriormente lanzar su ejecución.

SRec proporciona un diálogo para la ejecución del programa que ha cargado el estudiante. El usuario puede especificar un solo valor para los datos de entrada o varios. En el primer caso, se genera el árbol de recursión correspondiente a su ejecución. En el segundo caso, se genera un bosque de recursión, formado por tantos árboles como juegos de datos de entrada se hayan especificado. Una vez que el usuario selecciona uno de los árboles, puede interactuar con él. Por ejemplo, la Figura 1 muestra una captura de la pantalla principal de la herramienta en la que se

han generado 9 árboles de recursión para la serie de Fibonacci ($n=2..10$), aunque se muestra en tamaño grande el correspondiente a $n=8$ tras haber sido seleccionado.

A partir de este momento el estudiante puede interactuar con las visualizaciones que genera la herramienta. La herramienta permite cambiar las propiedades de los elementos gráficos de las visualizaciones, filtrar la cantidad de información a mostrar, cambiar el orden relativo de los datos en algunas visualizaciones, navegar por una visualización grande, buscar datos en la visualización y ampliar información sobre la misma.

C. Formulación de Hipótesis

La hipótesis de trabajo de nuestra investigación se enuncia de la siguiente forma:

H1: El sistema de visualización de programas SRec mejora la eficacia educativa en aprendizaje de procesos recursivos y de estrategias de resolución de divide y vencerás.

H2: El sistema de visualización de programas SRec mejora la autoeficacia del estudiante en el contexto de uso y aplicación de procesos recursivos en estrategias de resolución de divide y vencerás.

D. Sujetos, Variables y Procedimiento

La experiencia se realizó con dos grupos de estudiantes del Grado de Ingeniería Informática y Grado de Ingeniería de Software de la Universidad Rey Juan Carlos durante el curso académico 2015-2016, participando un total de 95 estudiantes. Con el objetivo de validar las hipótesis, se organizaron dos grupos: grupo de control, en adelante GC, y grupo experimental, en adelante GE. Las variables dependientes de estudio fueron: 1) la autoeficacia y 2) la eficacia de aprendizaje. La variable independiente es la herramienta de soporte y apoyo que dispone el estudiante para el desarrollo de la tarea. Ambos grupos, tanto de control como experimental, realizaron la misma tarea.

Todos los contenidos y actividades se organizaron en clases teóricas (clases magistrales combinadas con resolución de problemas) y en clases prácticas (en laboratorios de

computadores). El lenguaje de programación que se utilizó en las actividades prácticas fue Java. El mismo profesor impartió todas las clases a los dos grupos.

La experiencia abarcó los temas 3 y 4 de la asignatura, titulados respectivamente “Análisis de complejidad II” (final del bloque I de la asignatura) y “Divide y vencerás” (principio del bloque II) y duró cuatro semanas. Se distribuyó en varias sesiones de dos horas organizadas en tres fases: (1) se realizan los pretest de conocimientos de algoritmos recursivos y divide y vencerás; (2) se realizan varias tareas (T1 y T2 sobre programación de recursividad y T3 sobre divide y vencerás); y (3) se realizan los postest de conocimiento y de autoeficacia.

E. Instrumentos y Contenidos

Como instrumento de medida de la variable eficacia de aprendizaje se utilizó un test formado por 17 ítems con preguntas tipo selección y de texto libre. Como instrumento utilizado para medir la variable autoeficacia hemos utilizado la escala de autoeficacia académica [17]. Esta escala fue diseñada por Midgley *et al.* [18] y refleja la creencia del estudiante que tiene sobre su propia capacidad para realizar en el futuro tareas académicas.

La escala incluye 5 ítems con opciones desde 1 (nunca) hasta 4 (siempre). La escala de Autoeficacia académica ha sido traducida al español y utilizada en otras experiencias en ambientes educativos universitarios. La elección de utilización de esta escala se debe a que está ampliamente utilizada en contexto educativo y está validada.

El referente utilizado en los ítems es recursividad, complejidad y algoritmos de divide y vencerás. Un ejemplo de ítem es: “Voy a ser capaz de entender los temas más difíciles de recursividad, del esquema algorítmico Divide y Vencerás y de complejidad”.

Ambos cuestionarios, tanto de autoeficacia como eficacia de aprendizaje, se realizaron de forma anónima. Los estudiantes participaron voluntariamente y sin recibir bonificaciones en sus notas finales de la asignatura por su participación.

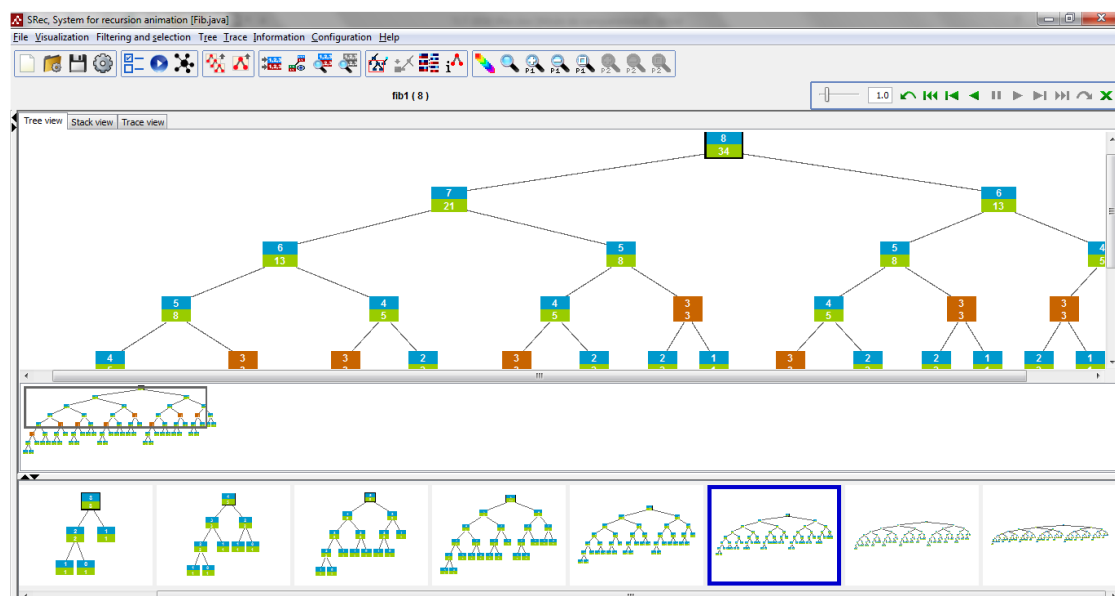


Figura .1. Herramienta SRec utilizada por el grupo experimental GE.

Como ya se ha indicado anteriormente, los estudiantes realizan tres tareas en la Fase 2 de la experiencia. Las tareas T1 y T3 son las mismas para los dos grupos, mientras que la tarea T2 tiene una parte igual y otra diferente: a los estudiantes del GE se le muestra el uso de SRec y se les facilita un par de ejemplos (el cálculo de una potencia y los números de Fibonacci) con los que trabajar y familiarizarse con el uso de SRec. Adicionalmente en esta tarea T2, a ambos grupos se les solicitó desarrollar dos programas (inversión de los dígitos de un número y el cálculo de un número combinatorio). Todos los estudiantes utilizaron el EDI NetBeans y adicionalmente los del GE usaron SRec (ver Figura 1).

IV. RESULTADOS

Se presentan los resultados organizados por las dos variables de estudio.

A. Eficacia de Aprendizaje

La experiencia comenzó con 95 participantes entre los dos grupos (experimental y control) sin embargo, hubo algunos sujetos que fueron eliminados del estudio estadístico ya que algunos estudiantes, o no realizaron los dos tests (pretest y posttest) o bien los realizaron, pero se equivocaron al introducir el código personal anónimo en las cabeceras de los test. Por tanto, la muestra final se redujo a 74 participantes distribuyéndose en 36 estudiante del grupo experimental y 38 en el grupo de control.

La Tabla I muestra las variables estudiadas en el análisis estadístico. Estas variables contienen la media de las puntuaciones obtenidas agrupadas por pretest y posttest y por el tipo de conocimiento que evalúa (recursividad y divide y vencerás). Además, se definen dos variables denominadas *Recursividad incremento* y *Divide y vencerás incremento* que miden el avance de aprendizaje del estudiante, tal y como se puede ver en las ecuaciones que las definen:

$$(I) \text{Recursividad incremento } (\Delta r) \\ = \text{Recursividad/postest} \\ - \text{Recursividad/pretest}$$

$$(II) \text{Divide y vencerás incremento } (\Delta d) \\ = \text{Divide y vencerás} \\ - \text{Divide y vencerás/Pretest}$$

La Tabla II visualiza la estadística descriptiva de las muestras de las distintas variables analizadas en el estudio estadístico. Como podemos observar en la Tabla II las medias de la puntuación obtenida en el posttest de recursividad del grupo experimental (*Recurvidad/Postest* = 5,53) es mayor que las del grupo de control (*Recurvidad/Postest* = 4,84). Sin embargo, esto no ocurre en el aprendizaje de divide y vencerás, donde la puntuación del grupo experimental (*Divide y vencerás/Postest* = 3,22) es menor que la del grupo de control (*Divide y vencerás/Postest* = 3,63). Como ya se ha indicado anteriormente por las ecuaciones (I) y (II) interpretamos como incremento o avance de aprendizaje la diferencia que hay entre la puntuación que ha obtenido el estudiante en el posttest de conocimiento y la obtenida en el pretest. La Tabla II muestra que este valor, para los conocimientos de recursividad, en el caso del grupo experimental, es positivo ($\Delta r = 0,61$) mientras que en el grupo de control es prácticamente nulo ($\Delta r = -0,11$). Para los

Variable	Descripción	Ítem
Recursividad/Pretest	Puntuación conocimientos de recursividad en el pretest	1-6
Recursividad/Postest	Puntuación conocimientos de recursividad en el postest	1-6
Divide y vencerás/Pretest	Puntuación conocimientos de divide y vencerás en el pretest	7-12
Divide y vencerás/Postest	Puntuación conocimientos de divide y vencerás en el Postest	7-12
Recursividad incremento	Diferencia puntuación de recursividad del postest y pretest	1-6
Divide y vencerás incremento	Diferencia puntuación de divide y vencerás del postest y pretest	7-12

conocimientos de divide y vencerás, ambos valores son positivos y mayor el del grupo de control que el del grupo experimental

Siguiendo en la Tabla II, podemos ver que los valores de los pretest de los dos grupos varían. En recursividad, el pretest del grupo experimental (*Recursividad/Pretest* = 4,92) es menor que el del grupo de control (*Recursividad/Pretest* = 4,95). Igual ocurre en divide y vencerás, donde el grupo experimental tiene un valor menor (*Divide y vencerás/Pretest* = 2,39) que el del grupo de control (*Divide y vencerás/Pretest* = 2,50). Además, los incrementos o avance de aprendizaje en divide y vencerás también es menor en el grupo experimental ($\Delta r = 0,83$) que en el grupo de control ($\Delta r = 1,13$). Con el objetivo de averiguar si las diferencias de los pretest son significativas entre los dos grupos se ha aplicado en primer lugar el test de normalidad para determinar si las muestras siguen una distribución normal o no. La tabla III muestra los resultados del test de *Shapiro-Wilk*, cuyo test ha sido aplicado al tratarse de un tamaño de muestra pequeño en los dos grupos ($N=38$ y $N=36$ de la Tabla II).

Este test indica que no siguen las muestras una distribución normal ($\alpha=0,05$) al ser *sig.* < 0,05. Para asegurar más aun el resultado de normalidad aplicamos también el test de *Kolmogorov-Smirnov* aunque estemos trabajando con muestras pequeñas. Este test también confirma que las muestras no siguen una distribución normal. En consecuencia, se deben aplicar test no paramétricos para la comparación de las medias de las diferentes muestras.

Para comparar si las medias de los pretest son significativas se ha aplicado el test no paramétrico para muestras independiente Mann-Whitney. La tabla IV muestra el resultado de este test, comparando por separado si la puntuación de los pretest de recursividad (*Recursividad/Pretest*) y de divide y vencerás (*Divide y vencerás/Pretest*) son diferentes en el grupo de control y en el experimental. El resultado del test muestra que no existe diferencia entre los grupos para un nivel de significancia de $\alpha < 0,05$.

TABLA II
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA POR GRUPOS

Estadísticos descriptivos							
Grupo	Conocimiento/test	N	Mínimo	Máximo	Media (M)	Desviación estándar	Varianza
Control	Rekursividad/Pretest	38	2	6	4,95	1,064	1,132
	Divide y vencerás/Pretest	38	0	6	2,50	1,856	3,446
	Rekursividad/Posttest	38	0	6	4,84	1,516	2,299
	Divide y vencerás/Posttest	38	0	6	3,63	1,601	2,563
	Rekursividad incremento	38	-4	3	-.11	1,448	2,097
	Divide y vencerás incremento	38	-3	6	1,13	2,016	4,063
Experimental	Rekursividad/Pretest	36	2	6	4,92	1,251	1,564
	Divide y vencerás/Pretest	36	0	6	2,39	1,573	2,473
	Rekursividad/Posttest	36	4	6	5,53	.654	.428
	Divide y vencerás/Posttest	36	1	6	3,22	1,929	3,721
	Rekursividad incremento	36	-2	4	.61	1,315	1,730
	Divide y vencerás incremento	36	-2	5	.83	1,813	3,286

TABLA III
COMPROBACIÓN DE DISTRIBUCIÓN NORMAL SOBRE LAS MUESTRAS

Pruebas de normalidad							
	Grupo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Rekursividad/Pretest	GC	0,233	38	0,000	0,842	38	0,000
	GE	0,249	36	0,000	0,799	36	0,000
Divide y vencerás/Pretest	GC	0,159	38	0,017	0,925	38	0,014
	GE	0,173	36	0,008	0,933	36	0,032
Rekursividad/Posttest	GC	0,252	38	0,000	0,762	38	0,000
	GE	0,376	36	0,000	0,696	36	0,000
Divide y vencerás/Posttest	GC	0,170	38	0,007	0,932	38	0,023
	GE	0,209	36	0,000	0,842	36	0,000
Rekursividad incremento	GC	0,182	38	0,003	0,941	38	0,044
	GE	0,290	36	0,000	0,803	36	0,000
Divide y vencerás incremento	GC	0,265	38	0,000	0,901	38	0,003
	GE	0,233	36	0,000	0,920	36	0,012

a. Corrección de significación de Lilliefors

B. Autoeficacia

La muestra final del grupo experimental para la autoeficacia fue 44 y la del grupo de control fue 51. Como se puede observar en la Tabla V, la media del valor de la autoeficacia del grupo experimental ($M=2,84$) es mayor que la del grupo de control ($M=2,54$).

Con el objeto de determinar si esta diferencia entre medias es representativa, procedemos a realizar pruebas de normalidad en primer lugar y determinar en consecuencia la aplicación de estudios paramétricos o no paramétricos. Se realiza el estudio de normalidad con un intervalo de confianza al 95% ($\alpha=0,05$) usando el método de *Shapiro-Wilk*, obteniendo que el grupo experimental sí sigue una distribución normal pero sin embargo no ocurre así en el grupo de control (ver Tabla VI).

TABLA IV
COMPARACIÓN DE MEDIAS DE PRETEST

Estadísticos de prueba ^a		
	Rekursividad /Pretest	Divide y vencerás/Pretest
U de Mann-Whitney	667,000	671,500
W de Wilcoxon	1408,000	1337,500
Z	-0,194	-0,137
Sig. asintótica (bilateral)	0,847	0,891

a. Variable de agrupación: Grupo (GE y GC)

Al no seguir una de las dos muestras una distribución normal aplicamos métodos no paramétricos para el estudio de las medias de ambos grupos. Aplicamos un test no paramétrico para muestras no relacionadas para comparar las medias entre grupos con un intervalo de confianza al 99% ($\alpha=0,01$). En concreto aplicamos Mann-Whitney (Tabla VII) donde podemos ver que el p-valor (0,004) es menor $\alpha=0,01$, por lo tanto las diferencias son estadísticamente significativas. Para reforzar más aún el resultado aplicamos el test de Wilcoxon (prueba de suma de rangos Wilcoxon) dando como resultado $W=1507,5$ y $p\text{-value}=0,003719$, que confirma el resultado anterior.

V. DISCUSIÓN

En lo relativo al aprendizaje del esquema algorítmico divide y vencerás, podemos ver que hay una sensible diferencia entre los pretest de ambos grupos (2,50 del grupo de control frente a 2,39 del grupo experimental), por lo que podría parecer que los estudiantes del grupo de control tenían más conocimientos en el esquema algorítmico que los del grupo experimental, y por tanto los grupos estaban desequilibrados desde el punto de vista de los conocimientos iniciales al comenzar la experiencia. Sin embargo, los resultados muestran que esta diferencia no es

TABLA V
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE AUTOEFICACIA

Estadísticos descriptivos						
Grupo	N	Mínimo	Máximo	Media (M)	Desviación estándar	Varianza
Control	51	1,6	6	2,54	0,474	0,224
Experimental	44	2	4	2,84	0,4961	0,246

TABLA VI
NORMALIDAD DE MUESTRAS

Grupo	W	Sig.
Control	0,94346	0,01694
Experimental	0,95474	0,08269

TABLA VII
COMPARACIÓN DE MEDIAS DE POSTEST

Estadísticos de prueba ^a	Valor
U de Mann-Whitney	736,500
W de Wilcoxon	2062,500
Z	-2,905
Sig. asintótica (bilateral)	0,004

a. Variable de agrupación: Grupo (GE y GC)

estadísticamente significativa (Tabla IV), por lo que los grupos están compensados a nivel de conocimiento del esquema algorítmico divide y vencerás. Los resultados también muestran que la diferencia entre el postest y el pretest es menor en el grupo experimental ($\Delta d=0,83$) que en el grupo de control ($\Delta d=1,13$). Ante estos resultados, y en una primera lectura, nos surge la duda de si es más fácil que el grupo de control experimente un avance mayor que el grupo experimental, partiendo ambos grupos con el mismo nivel de conocimientos. Además, parece ser (a falta de confirmar si las diferencias entre postest y pretest son significativas) que los estudiantes del grupo de control han aprendido más ($M=3,63$) que los del grupo experimental ($M=3,22$). Por lo tanto, no podemos aceptar la hipótesis H1 en la que se afirma que la herramienta SRec mejora el aprendizaje del esquema divide y vencerás. Esto parece indicar que a la finalización de la tarea, los estudiantes del grupo experimental terminaron con un menor nivel de conocimientos en divide y vencerás que el grupo de control. Sin embargo, no se puede afirmar esta cuestión ya que sería necesario analizar estadísticamente si esta diferencia es significativa (tarea que se contempla en un trabajo futuro).

En lo relativo al aprendizaje de la recursividad podemos ver que el grupo experimental obtiene mejores resultados finales ($M=5,53$) frente a los del grupo de control ($M=4,84$), además, el avance de aprendizaje del grupo experimental ha sido mayor ($\Delta r=0,61$) que el de control ($\Delta r=-0,11$), el cual ha experimentado retroceso. A falta de confirmar si las diferencias son estadísticamente significativas, podemos afirmar que observamos tendencia en la mejora del aprendizaje de la recursividad con la herramienta. Aunque pueda parecer que los estudiantes que utilizaron la herramienta tenían unos conocimientos de recursividad menores que el grupo que no la usaron (medias en pretest de 4,92 y 4,95 respectivamente), hay que tener en cuenta que esta diferencia no es estadísticamente significativa, con lo cual ambos grupos partieron aproximadamente del mismo nivel de conocimientos en recursividad.

No sabemos muy bien la causa del retroceso del grupo de control en el aprendizaje de la recursividad ($\Delta r=-0,11$), podría estar relacionada con algún sentimiento de desmotivación del estudiante durante la actividad, o bien podría estar relacionada con posibles confusiones e incertidumbres que se generen en el estudiante cuando programa recursividad sin entender totalmente los árboles de recursión que generan dichos programas.

En la autoeficacia vemos que el grupo experimental tiene mayor valor ($M=2,84$) que el grupo de control ($M=2,54$).

Teniendo en cuenta que las diferencias de estas medias son estadísticamente significativas (ver Tabla VII) podemos pensar con cautela que los estudiantes que usaron SRec acabaron obteniendo mayor confianza en sus propias habilidades para abordar problemas de programación de recursividad, de divide y vencerás y de complejidad algorítmica que los estudiantes que no lo utilizaron, generando por tanto el uso de SRec un mayor grado de confianza en sí mismos. SRec da realimentación al estudiante, siendo uno de los factores [3] que aumenta la sensación de autoeficacia.

Como se puede observar en el diseño de la experiencia (sección III) no se realizaron medidas de autoeficacia en al inicio de la experiencia. Hay que tener en cuenta que la fuente con mayor repercusión e impacto en la autoeficacia es la experiencia previa [3]. Al inicio del experimento, esta experiencia previa es nula en los estudiantes para algunas de las tareas que desarrollan a lo largo de la experiencia. Debemos ser conscientes que los estudiantes no tienen conocimientos previos sobre el esquema algorítmico de divide y vencerás. Por tanto, el intentar medir el grado de autoconfianza que experimenta un sujeto sobre una actividad que no tiene ninguna experiencia previa puede ser poco representativo del estado real de ésta, y más bien pueda representar el grado de optimismo que pueda tener éste.

Además de este aspecto hay que tener en cuenta la complejidad de la tarea desarrollada por el estudiante. Las tareas de programación en las que trabaja el estudiante durante la experiencia tienen una complejidad intrínseca considerable. Sin duda alguna, esta complejidad intrínseca podría constituir una experiencia de gran impacto sobre la creencia que tiene el estudiante en sus propias capacidades, en la propia autoconfianza, que además, al ser tareas complejas para los estudiantes y, en general presentan más experiencias de fracaso que de éxito, harían que probablemente decreciera la autoconfianza. El éxito refuerza la creencia en nuestra capacidad personal mientras que situaciones de fracaso las debilita. SRec permite revertir esta situación, permitiendo encontrar los errores de forma inmediata y convertir este fracaso en futuro éxito.

Estos dos aspectos, el de la inexistencia de experiencia previa del estudiante y la complejidad intrínseca de la tarea, son variables que están igualmente presente en ambos grupos (control y experimental) y que afectarían a la hora de comparar las medidas de autoeficacia iniciales de la experiencia con las finales, no siendo representativa estas comparaciones para valorar la intervención de la herramienta y distorsionando el estudio.

Como dato adicional, señalamos que en una experiencia distinta, que hemos realizado en el año 2017, en la que los estudiantes no tenían ningún conocimiento previo sobre la tarea a realizar se midieron la autoeficacia al inicio de la experiencia y al final. En esta experiencia los resultados del postest de la autoeficacia disminuyeron respecto a los del pretest en ambos grupos (control y experimental), siendo esta experiencia en un dominio totalmente diferente, con estudiantes del Grado de Enfermería y sin intervención del uso de los computadores como elemento central de la tarea. Esto nos hace pensar que la medida de autoeficacia que percibe el sujeto ante una tarea que no tiene experiencia previa puede ser poco representativa, siendo mucho más

representativa de ésta la medida una vez que se tenga alguna experiencia.

Como conclusión final, y a tenor de los resultados obtenidos en esta experiencia, no podemos aceptar la hipótesis *H1*: “El sistema de visualización de programas SRec mejora la eficacia educativa en aprendizaje de procesos recursivos y de estrategias de resolución de divide y vencerás”, por lo que no podemos afirmar que el uso de SRec mejora la eficacia del estudiante en el aprendizaje del esquema divide y vencerás, aunque sí se observa una tendencia de mejora en el aprendizaje de la recursividad.

Aunque los resultados obtenidos no han sido los esperados, no es una situación desconocida en el uso educativo de visualizaciones. Existen numerosas experiencias en la documentación científica donde la visualización no ha tenido los efectos esperados, siendo variadas las razones de dichos resultados adversos [19].

También, como conclusión final, se puede aceptar la hipótesis *H2*: “El sistema de visualización de programas SRec mejora la autoeficacia del estudiante en el contexto de uso y aplicación de procesos recursivos en estrategias de resolución de divide y vencerás”. Por tanto, podemos afirmar que SRec mejora la autoeficacia del estudiante en el proceso de aprendizaje respecto a otras herramientas de programación como EDI NetBeans.

VI. CONCLUSIÓN

En este artículo hemos presentado una experiencia en el aula con estudiantes de las asignaturas de algoritmia en la que hemos utilizado dos herramientas de apoyo diferentes para realizar tareas de aprendizaje de recursividad y del esquema algorítmico divide y vencerás. Los estudiantes se han distribuido en dos grupos: Grupo de Control, donde se utilizó la herramienta EDI NetBeans, y Grupo Experimental, que trabajó con EDI NetBeans y con la herramienta de visualización y animación algorítmica SRec. Al inicio final de la experiencia se realizaron medidas del nivel de conocimiento de los estudiantes para medir la eficacia de aprendizaje de las herramientas, y al final de la misma, para poder comparar si hubo incremento. Para medir este conocimiento se diseñó una escala específica. Adicionalmente se realizó una medida de la autoeficacia del estudiante al finalizar la experiencia, tanto en un grupo como en el otro.

Como conclusión a partir de los resultados obtenidos no podemos afirmar que en la eficacia del aprendizaje haya habido una mejora con el uso de la herramienta de visualización algorítmica. Sin embargo, hemos encontrado una mejora estadísticamente significativa en la autoeficacia del estudiante cuando se usa la herramienta de visualización SRec respecto cuando se usa la herramienta de desarrollo profesional NetBeans.

Como trabajo futuro pretendemos profundizar en el análisis estadístico de los datos obtenidos en la experiencia, analizando en primer lugar las puntuaciones obtenidas en los test de árboles de recursión y en segundo lugar, realizar análisis de correlación entre la autoeficacia y la eficiencia de aprendizaje. También es aconsejable volver a repetir la evaluación, bien para comprobar si los resultados se reproducen bien para intentar introducir cambios en la experiencia de forma que puedan llevar a mejores resultados

del grupo experimental.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha financiado con los proyectos de investigación TIN2015-66731-C2-1-R del Ministerio de Economía y Competitividad, S2013/ICE-2715 de la Comunidad Autónoma de Madrid, y 30VCPIGI15 de la Universidad Rey Juan Carlos.

REFERENCIAS

- [1] Vallerand, Robert J.; Fortier, Michelle S.; Guay, Frédéric (1997). “Self-determination and persistence in a real-life setting: Toward a motivational model of high school dropout. *Journal of Personality and Social Psychology*”, Vol 72(5), May 1997, 1161-1176.
- [2] Bandura, A. (1999). A social cognitive theory of personality. In L. Pervin & O. John (Ed.), *Handbook of personality* (2nd ed., pp. 154-196). New York: Guilford Publications.
- [3] Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. New York, NY: Freeman.
- [4] Zimmerman, B.J. (2000). Self-Efficacy: An Essential Motive to Learn. *Contemporary Educational Psychology* 25: 82-91.
- [5] Compeau, D. R., & Higgins, C. A. (1995). Computer self-efficacy: Development of a measure and initial test. *MIS Quarterly*, 19, 189-211.
- [6] Miura, I. T. (1987). The relationship of computer self-efficacy expectations to computer interest and course enrollment in college. *Sex Roles*, 16, 303-311.
- [7] Sam, H. K., Othman, A. E. A., & Nordin, Z. S. (2005). Computer Self-Efficacy, Computer Anxiety, and Attitudes toward the Internet: A Study among Undergraduates in Unimas. *Educational Technology & Society*, 8 (4), 205-219.
- [8] Valencia-Vallejo, N., López-Vargas, O., & Sanabria-Rodríguez, L. (2016). Self-Efficacy in Computer-Based Learning Environments: A Bibliometric Analysis. *Psychology*, 7, 1839-1857.
- [9] Ramalingam, V., LaBelle, D. & Wiedenbeck, S. (2004). Self-Efficacy and Mental Models in Learning to Program. *ITICSE'04 June 28-30*, pp. 171-175.
- [10] Zingaro, D. (2014). Peer Instruction Contributes to Self-Efficacy in CS1, *SIGCSE'14*, March 3–8, 2014, Atlanta
- [11] Govender, I., Govender, D., Havenga, M., Mentz, E., Breed, B., Dignum, F. & Dignum, V. (2014) Increasing self-efficacy in learning to program: exploring the benefits of explicit instruction for problem solving, *TD The Journal for Transdisciplinary Research in Southern Africa*, 10(1), pp. 187-200.
- [12] Jedge, P. O. (2009). Predictors of java programming self-efficacy among engineering students in a nigerian university. *IJCSIS, International Journal of Computer Science and Information Security* Vol. 4, No. 1 & 2.
- [13] Quille, K. & Bergin, S. (2016). Does Scratch improve self-efficacy and performance when learning to program in C#? An empirical study. *International Conference on Engaging Pedagogy (ICEP)*, Maynooth University, Ireland.
- [14] Brassard, G., & Bratley, P. (1996). *Fundamentals of Algorithmics*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- [15] Velázquez-Iturbide, J.A., Pérez-Carrasco, A. & Urquiza-Fuentes J. (2008). SRec: An animation system of recursion for algorithm courses,” en *Proceedings of the 13th Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education, ITiCSE 2008*, ACM, Madrid, pp. 225-229.
- [16] Velázquez-Iturbide, J.A. & Pérez-Carrasco, A. (2016). How to use the SRec visualization system in programming and algorithm courses, *ACM Inroads*, vol. 7, no. 3, pp. 42-49.
- [17] Bresó, E., Schaufeli, W.B. and Salanova, M. (2011). Can a self-efficacy-based intervention decrease burnout, increase engagement, and enhance performance? A quasi-experimental study. *High Educ*, 61, 339–355.
- [18] Midgley, C., Maehr, M. L., Hruda, L. Z., Anderman, E., Anderman, L., Freeman, K. E., et al. (2000). *Manual for patterns of adaptive learning scales*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- [19] Urquiza-Fuentes, J. & Velázquez-Iturbide, J. Á. (2009). A survey of successful evaluations of program visualization and algorithm animation systems, *ACM Transactions on Computing Education*, vol. 9, no. 2, artículo 9.



Maximiliano Paredes Velasco es titulado por la Universidad de Castilla-La Mancha en Ingeniería Técnica en Informática de Sistema. En 1998 obtuvo el título de Ingeniero en Informática de la Universidad de Sevilla y se doctoró en Ingeniería Informática por la Universidad de Castilla-La Mancha en 2006. En 1998 comenzó a trabajar como profesor de la Universidad de Alcalá de Henares para pasar posteriormente al Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad Rey Juan Carlos en 1999, donde desarrolla su labor como profesor actualmente. Su investigación se centra en aprendizaje colaborativo soportado por computador (CSCL) e Interacción Persona-Ordenador. Es autor de números artículos en congresos y revistas y participa en varios proyectos de investigación.



Isidoro Hernán Losada es titulado por la Universidad Complutense de Madrid en CC. Físicas especialidad de Cálculo Automático. En 2012 obtuvo el título de Doctor en Informática y Modelización Matemática por la Universidad Rey Juan Carlos (URJC). Actualmente es profesor colaborador en la URJC. Su investigación se centra en la informática educativa. Es autor de numerosos artículos en congresos nacionales e internacionales y participa en varios proyectos de investigación.



J. Ángel Velázquez Iturbide recibió los títulos de Licenciado y de Doctor en Informática por la Universidad Politécnica de Madrid, España, en los años 1985 y 1990, respectivamente. Actualmente es Catedrático de Universidad en la Universidad Rey Juan Carlos, donde también es el Director del Laboratorio de Tecnologías de la Información para la Educación (LITE, <http://www.lite.etsii.urjc.es/>). Sus áreas de investigación son *software* y metodologías docentes para la enseñanza de la programación y la visualización del *software*. Actualmente, es Presidente de la Asociación para el Desarrollo de la Informática Educativa (ADIE). Es miembro senior de IEEE (IEEE *Computer Society* e IEEE *Education Society*) y de ACM (incluyendo ACM SIGCSE).



Carlos María Alcover es Licenciado y Doctor en Psicología Social por la Universidad Complutense de Madrid. Desde 1998 pertenece a la Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, donde es catedrático de Psicología Social (Psicología del Trabajo y de las Organizaciones). Dirige el Equipo INPSITRO/SOC (Investigación en Psicología del Trabajo y las Organizaciones y en Psicología Social), y colabora de manera estable con equipos de investigación de universidades españolas, europeas y americanas en diversas líneas de investigación interdisciplinar. En la actualidad, su investigación se centra en el contrato psicológico y las relaciones de intercambio en las organizaciones; las dinámicas de cambio en los equipos de trabajo; y el papel desempeñado por las identidades y las pertenencias a múltiples grupos en la salud y el bienestar.

Capítulo 14

Desenvolver o Pensamento Computacional Usando Seguir e Dar Instruções

José Figueiredo, Francisco José García-Peñalvo

Title— Improving Computational Thinking Using Follow and Give Instructions

Abstract — Computational Thinking can be defined as a set of skills for problem solving based on Computer Science. Young people grow up surrounded by technology but many of them go for university without any prior knowledge in computer science. This paper is an attempt to demonstrate the importance of computational thinking in the first beginning of learning programming, and what activities best contribute to increase the abilities of each computer engineering student in computational thinking according to the characteristics of those who attend the Polytechnic of Guarda, Portugal. Most of our students have never had the opportunity to learn computational thinking.

Keywords— computer science, computer science education, programming.

Resumo— O Pensamento Computacional pode ser definido como um conjunto competências mentais e técnicas, baseadas nas ciências da computação, para a resolução de problemas. Os jovens de hoje crescem rodeados de tecnologia, no entanto, chegam ao ensino superior com poucos conhecimentos na área das ciências da computação e com o pensamento computacional pouco desenvolvido. Neste trabalho procuramos demonstrar a importância do pensamento computacional nos primeiros anos de aprendizagem da programação de computadores, e quais as atividades que melhor contribuem para o desenvolvimento dessas competências, de acordo com as características dos alunos que iniciam os estudos do curso de engenharia informática, no Instituto Politécnico da Guarda, Portugal. A maioria dos nossos alunos nunca teve a oportunidade de aprender pensamento computacional.

Keywords— ciências da computação, ensino ciências da computação, programação.

I. PENSAMENTO COMPUTACIONAL - VISÃO GERAL

O pensamento Computacional é uma aptidão fundamental para todos. O termo Computational Thinking, ou Pensamento Computacional, tornou-se popular pela Jeannete M. Wing [1]. A autora defende a disseminação massiva do pensamento computacional, tal como a leitura, a escrita e a aritmética. Nos últimos anos, temos assistido à proliferação de projetos, com o apoio de entidades governamentais e não-governamentais, como o objetivo específico de incentivar o pensamento computacional e a aprendizagem da programação, em especial nos primeiros anos de escolaridade.

O pensamento computacional é uma aptidão que nos permite criar soluções para problemas utilizando as técnicas da computação [2], [3], [4]. Os computadores são usados para nos ajudar a resolver problemas. No entanto, para que tal seja possível é necessário conhecer bem o problema e identificar, analisar e implementar possíveis soluções. O pensamento computacional dá-nos os métodos, as técnicas e a coragem para o examinar, avaliar e criar possíveis soluções para um problema complexo. As soluções podem ser apresentadas de forma que os computadores, os humanos, ou ambos, as possam entender. Para a maioria das nossas tarefas do dia-a-dia, das mais simples às mais complexas, é uma boa ideia fazer um plano de resolução utilizando técnicas das ciências da computação, como: dividir o problema complexo em problemas mais simples de fácil compreensão e resolução – decomposição; procurar semelhanças com outras experiências e soluções – reconhecer padrões; centrar a atenção apenas no que é essencial e expressar uma solução em termos genéricos para que possa ser utilizada em outras situações – abstração; desenvolver um conjunto de instruções passo-a-passo que conduzam à resolução do problema – algoritmo. Este plano pode ser utilizado por todos, independentemente da sua área de conhecimento, tarefa ou idade.

O pensamento computacional é essencial para o desenvolvimento de aplicações informáticas, mas também pode ser utilizado para apoiar a resolução de problemas pelas

Este trabalho foi apresentado originalmente em Fifth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'17)

José Figueiredo, Unidade de Investigação para o Desenvolvimento do Interior Av. Dr. Francisco de Sá Carneiro, 50 6300-559, Guarda, Portugal Telef +351271220191. Fax +351271220150; e-mail: jfig@ipg.pt.

Francisco José García-Peñalvo Computer Science Department Research Institute for Educational Sciences GRIAL research group University of Salamanca fgarcia@usal.es

mais diversas áreas da ciência, desde das matemáticas às humanidades. Os estudantes que aprendem pensamento computacional ao longo da sua vida começam a ver com mais clareza o relacionamento entre os diferentes assuntos, bem como as relações entre a escola e a vida fora da sala de aula.

O pensamento computacional ensina-nos a pensar, a encontrar a solução para um problema, a organizar um plano de resolução de uma tarefa. O pensamento computacional ensina-nos, também, as atitudes e predisposições necessárias à confiança, à capacidade e à persistência em lidar com a complexidade dos problemas.

Neste artigo destacamos a importância da aprendizagem e do treino do pensamento computacional ao longo da vida de todos os estudantes. De facto, a maioria dos estudantes que chega à universidade nunca teve a oportunidade de desenvolver as competências e técnicas do pensamento computacional. A programação é uma das melhores formas de desenvolver essas competências. Na primeira parte do nosso trabalho apresentamos algumas das ferramentas que ajudam a motivar e a incentivar o gosto pela programação, especialmente aquelas que disponibilizam recursos e ajudam os professores. Na segunda parte do nosso trabalho, apresentamos os resultados de um estudo envolvendo um grupo de estudantes de engenharia informática do Instituto Politécnico da Guarda, Portugal. Neste estudo, exploramos os conceitos de seguir e dar instruções e desenho de mapas, numa tentativa de melhorar e desenvolver as competências do pensamento computacional de cada aluno.

II. PROGRAMAÇÃO O CAMINHO PARA O PENSAMENTO COMPUTACIONAL - FERRAMENTAS

Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemáticas (STEM - Science, Technology, Engineering and Mathematics) estão entre as principais características da vida moderna e possuem a chave para resolver muitos dos desafios atuais e futuros mais urgentes da humanidade. A posição dos Estados Unidos na economia global está em declínio, em parte porque os trabalhadores dos EUA não possuem conhecimento fundamental nestas áreas. Para estudar o declínio da competitividade dos EUA e melhorar a preparação dos trabalhadores nestas áreas, a Framework for K-12 Science Education propõem uma nova abordagem para o sistema de ensino básico e secundário, que permitirá captar o interesse dos estudantes e aumentar as suas qualificações nestas áreas [5]. Este é apenas um exemplo, muitos outros países sentem a necessidade de promover e incentivar o trabalho nesta área para melhorar os conhecimentos nas áreas STEM, principalmente desenvolvendo ferramentas para que todos os envolvidos na educação tenham um trabalho facilitado, como é caso do Reino Unido [6].

É conhecido que em 2020 haverá mais 1.4 milhões de vagas de emprego na área da informática, mas de acordo com as atuais previsões, as pessoas com qualificações para ocupar essas vagas é de aproximadamente 30% [7]. O emprego na área da informática e nas tecnologias da informação e comunicação deverá crescer de 12% entre 2014 e 2024, representando o mais rápido crescimento que a média de todas as outras áreas de emprego, segundo U.S. Bureau of Labor Statistics, Office of Occupational Statistics and Employment Projections. Por outro lado, existem vários benefícios com a inclusão das ciências da computação nos

programas do ensino k-12 (em Portugal representa o ensino básico e secundário) [7]. Estes incluem, entre outros, a construção de competências de nível elevado do pensamento e o aumento de uma atitude positiva perante a área das ciências da computação e informática.

Apesar de toda a dedicação e esforço generalizado na área das ciências da computação e do pensamento computacional, na sua maioria os professores não possuem qualificações profissionais nestas áreas. Esta é provavelmente a razão pela qual, nos últimos anos, testemunhamos a proliferação de inúmeros projetos com o objetivo específico de encorajar o estudo da programação, especialmente nos anos de ensino pré-universitários. Muitas organizações estão a trabalhar arduamente com o objetivo de proporcionar aos jovens o seu sucesso no mundo digital. No trabalho apresentado em [8], foi realizada uma pesquisa exaustiva e respetiva avaliação das ferramentas existentes para o ensino e aprendizagem da programação no ensino pré-universitário. De seguida, apresentamos algumas dessas ferramentas e adicionamos outras, especialmente aquelas que permitem aos professores e pais mostrar aos alunos o melhor caminho:

- **Alice.** Alice é um inovador ambiente de programação baseado em blocos que facilita a criação de animações, a construção de narrativas interativas, ou a programação de jogos simples em 3D. Alice foi desenvolvida para ensinar lógica e pensamento computacional, os princípios fundamentais da programação e, ainda, ser o primeiro contacto com a programação orientada pelos objetos. O projeto Alice fornece ferramentas e materiais adicionais para o ensino, e com resultados comprovados em cativar diferentes grupos de alunos desmotivados [9].
- **Barefoot.** Barefoot disponibiliza um conjunto de recursos que permite aos professores do ensino básico ganhar a confiança, o conhecimento e as competências necessárias para ensinar ciências da computação. Recursos de acordo com o curriculum para todos os países do Reino Unido. Estes recursos incluem planos de aula e *workshops*, todos com o objetivo de ajudar os professores a ganhar confiança e levar as ciências da computação à sala de aula [10]. A *Barefoot Computing* é apoiada pela *British telecommunications* (BT) [11] para ajudar a construir uma cultura de alfabetização tecnológica e computação na escola (CAS – Computing At School) [12].
- **Blockly.** Blockly é uma biblioteca à qual é adicionado um editor de código visual para a construção de aplicativos web e android. O editor Blockly usa blocos gráficos interligados para representar conceitos de código, como variáveis, expressões lógicas, ciclos e muitos outros. Blockly permite que os utilizadores apliquem os princípios da programação sem a preocupação de erros de sintaxe ou a intimidação de um cursor a piscar numa linha de comando. Blockly, criado pela Google, desenvolveu uma grande série de recursos, programas, bolsas de estudo e oportunidades de concessão e financiamento com o intuito de envolver estudantes e professores interessados em desenvolver as suas competências em ciências da computação [13].
- **CodeCombat.** CodeCombat é uma plataforma para aprender ciências da computação enquanto se joga um jogo real. CodeCombat não usa blocos, pois são da

opinião que apresentar código escrito aos estudantes é fundamental para aprendizagem da programação. Permite, também, maior flexibilidade e criatividade na resolução de problemas. CodeCombat é dotado de um conjunto de recursos e guias dos cursos dirigidos aos professores, capacitando-os para o processo de democratização da aprendizagem da programação [14]

- **Code.org.** Lançado em 2013, o Code.org é uma organização sem fins lucrativos dedicada em divulgar e ampliar o conhecimento em ciências da computação e, também, aumentar e incentivar a participação das mulheres. O seu principal objetivo é de que cada aluno tenha a oportunidade de aprender ciências da computação e a programação de computadores. Defendem que as ciências da computação e programação de computadores deve ser parte fundamental de qualquer currículo de ensino, juntamente com outros cursos de ciência, tecnologia, engenharia e matemáticas (STEM), tal como biologia, física, química e álgebra. A “Hora do Código” é uma iniciativa global da *Computer Science Education Week* [15] e Code.org com o intuito de dar a conhecer e incentivar a programação de computadores.
- **Cubetto.** Cubetto é inspirado em Logo Turtle. Cubetto é um robô de fácil aprendizagem e utilização, construído em madeira, que ensina os conceitos básicos da programação de computadores. Utiliza uma linguagem de programação muito simples que pode ser tocada e manipulada como o Lego. É adequada para crianças que ainda não sabem ler ou escrever [16].
- **CS Unplugged.** Os seus princípios são: não é necessário computador; ciências da computação real; aprender fazendo; diversão; não é necessário equipamento específico; incentivar variações; para todos; atividades cooperativas; individual; flexível [17].
- **Greenfoot.** Greenfoot ensina programação orientado pelos objetos em Java. Greenfoot é visual e interativo. Funciona com atores que são programados em código java, proporcionando um experiência com a programação tradicional de escrita de código com a execução visual. Greenroom é um local exclusivo a professores para partilha de recursos didáticos e de discussão em redor do ensino e aprendizagem do Greenfoot [18].
- **Khan Academy.** Khan Academy oferece um conjunto de exercícios práticos, vídeo educativos e um plano de aprendizagem personalizado que permite a cada aluno, aprender e estudar ao seu próprio ritmo, dentro e fora da sala de aula, nas mais diversas áreas: matemáticas, ciências, engenharia, informática, artes, humanidades, economia e finanças. A sua missão é proporcionar uma educação gratuita para todos, em qualquer lugar [19].
- **Kodable.** Escrito por professores do pré-escolar, o curriculum Kodable proporciona a aprendizagem da programação para crianças entre os 4 e 10 anos de idade, mas é especialmente dirigido às crianças do pré-escolar. Kodable possibilita atividades práticas em grupo ou individuais e permite desenvolver a criatividade, a comunicação e a colaboração. O seu objetivo é alcançar o maior número de alunos e que as ciências da computação façam parte da educação no pré-escolar [20].
- **Kodu.** Kodu permite aos alunos criar jogos para computador, em sistema Windows, através de uma linguagem simples de programação visual. Kodu pode ser explorado para a ensinar e desenvolver a criatividade, a resolução de problemas, a narração de histórias, bem como a programação. Qualquer um pode usar o Kodu para fazer um jogo, desde as crianças mais pequenas aos adultos sem qualquer experiência ou conhecimento em programação [21].
- **Lightbot.** Com o Lightbot os alunos devem orientar um robô para iluminar um conjunto de blocos. Para tal, o aluno deve programar o robô utilizando um conjunto de instruções. O jogo é multiplataforma. O objetivo principal é compreender como criar e dar ao computador um conjunto de instruções a seguir [22].
- **LiveCode.** LiveCode tem a visão de que todos podem codificar. Criaram uma plataforma de código aberto para criar aplicações multiplataforma. A linguagem LiveCode foi projetada para ser expressiva, legível, memorável e o mais próximo possível da forma como falamos e pensamos. O ambiente de programação visual permite ao utilizador desenvolver aplicações numa linguagem simples e poderosa, possibilitando aos alunos desenvolver as suas competências em ciências da computação [23].
- **MIT App Inventor.** MIT App Inventor é um ambiente intuito de programação visual, que permite a todos a criar aplicações para dispositivos móveis, como smartphones e tablets. O projeto MIT App Inventor. Procura democratizar o desenvolvimento de software, capacitando todas as pessoas, especialmente os jovens, para a transição de consumidores de tecnologia para os criadores de tecnologia [24]. App Inventor for Educators é uma comunidade educativa, como o objetivo de partilhar ideias, recursos, perguntas e respostas [25].
- **Scratch.** Scratch é uma linguagem de programação e uma comunidade *online* onde todos podem programar e partilhar as suas experiências, como histórias, jogos e animações, com pessoas de todo o mundo. À medida que as crianças “brincam” com o Scratch, elas aprendem a pensar de uma forma criativa, trabalham de um modo colaborativo, e questionam sistematicamente. Estas são algumas das características fundamentais para a vida no século XXI. O Scratch foi desenvolvido e é gerido pelo Lifelong Kindergarten group, do MIT Media Lab [26].
- **Snap (Build Your Own Blocks).** Snap é uma linguagem de programação visual *drag-and-drop*. É um complemento ao Scratch, a principal diferença é que Snap permite criar novos blocos, de acordo com as nossas necessidades, e desta forma criar programas mais complexos. Esta característica adicional torna-o mais adequado para um nível de programação mais avançado [27].
- **TACCLE 3.** TACCLE 3 – Coding é um Projeto Europeu [28] de apoio ao ensino primário e todos os professores que desejam ensinar informática aos alunos com idades entre os 4 e os 14 anos. TACCLE 3 é um projeto que fornece conhecimento e ideias práticas que os professores podem usar e os materiais de que precisam para introduzir a informática ou a codificação nas suas salas de aula [29]–[31].

- **Touch Develop.** Touch Develop permite criar aplicações para computador ou dispositivos móveis num ambiente de programação bastante agradável. Podemos, também, partilhar as nossas aplicações na cloud. Disponibiliza um curriculum (Creative Coding Through Games And Apps) para a introdução às ciências da computação utilizando Touch Develop. Este curriculum inclui planos diários para implementar com diferentes tempos de duração [32].
- **Tynker.** Tynker é uma forma revolucionária de aprender a programar. As crianças aprendem os conceitos fundamentais da programação com blocos visuais, progredindo depois para Javascript e Python à medida que desenvolvem os seus conhecimentos e ganham confiança nas suas capacidades [33].

III. A NOSSA PROPOSTA

Os projetos de massificação do pensamento computacional e da codificação, neste trabalho por vezes também designado por ciências da computação com um sentido mais lato, começa a dar os primeiros passos para a sua implementação no sistema de ensino em Portugal. Esta é a principal razão pela qual a maioria dos estudantes, que chegam ao ensino superior, nunca tiveram a oportunidade de aprender ou desenvolver o pensamento computacional e a codificação.

Neste trabalho, foi realizado um estudo para investigar e explorar as opiniões e dificuldades que os alunos enfrentam quando iniciam o estudo de um curso de programação. Nesta pesquisa é, também, nossa intenção detetar qual ou quais as melhores práticas para desenvolver e melhorar as competências dos alunos na aprendizagem da programação.

Os jovens, os nossos alunos, crescem rodeados de tecnologia. Mas, na sua maioria não fazem a mais pequena ideia de como essa tecnologia funciona e o quanto isso é importante para o seu futuro. Os jovens de hoje em dia não conhecem a vida sem a tecnologia. É parte integrante da sua existência. A sua maioria passa todos os tempos livres ao computador ou com dispositivos móveis. São ferramentas essenciais de comunicação e informação para eles. Crescem com os computadores e telemóveis. Por tudo isto, procuramos não usar a tecnologia para este estudo. É intencional que os alunos manipulem e resolvam os exercícios manualmente, como um jogo de tabuleiro, onde os alunos possam explorar com prazer, manualmente, sem medo de errar e onde o relacionamento professor-aluno e a confiança possam ser melhorados e aperfeiçoados.

A. Grupo de Estudo

Este estudo envolve um grupo de alunos (46) do curso de engenharia informática, do Instituto Politécnico da Guarda (IPG), Portugal. O nosso grupo de estudo revela algumas dificuldades gerais na área das ciências da computação, conclusão obtida através de um inquérito inicial, sobre os seus conhecimentos e competências adquiridas ao longo dos seus anos de estudo no ensino pré-universitário.

B. Curso de Pré-Programação

O pensamento computacional pode ser aplicado a vários tipos de problemas que não envolvem diretamente tarefas de codificação. De acordo com as características dos alunos de engenharia informática do IPG, criamos um conjunto de

exercícios, ou atividades, para que os alunos possam desenvolver e melhorar substancialmente as suas capacidades cognitivas. E, consequentemente melhorar a aprendizagem da programação, a que nos designamos de curso de pré-programação [34].

O curso engloba o seguinte conjunto de atividades:

- Seguir e Dar instruções. Este tipo de exercícios tem como objetivo aumentar o desenvolvimento das aptidões de raciocínio cognitivo e visualização espacial dos alunos, características fortemente associadas às competências necessárias para a programação [35]–[37]. Neste tipo de exercícios os alunos devem desenhar numa folha de papel o que um aluno ou o professor descreve por palavras. Em outro exemplo, os alunos devem descrever direções, ou seja, o que tem de fazer se deslocar de um ponto A para o ponto B.
- Desenho de mapas. Com este tipo de atividade procuramos desenvolver no aluno as suas capacidades de planeamento, descrição e abstração perante uma situação real. Estas atividades incluem o desenho de mapas e indicação do caminho a seguir para atingir um objetivo específico.
- Origami e dobrar papel. Origami é uma arte secular japonesa difundida em todo mundo [36], [38]–[40]. Conhecida pelo desenvolvimento de características como: perceção visual e espacial, coordenação motora fina, memória, paciência e persistência, autoconfiança, pensamento lógico, atenção, concentração e alívio do stress e tensão. Existem milhares de exemplos, do mais simples ao mais complexo, de várias categorias, que podem ser usados de acordo com as características e gosto de cada aluno, como podemos ver na .
- Dobrar papel, em particular dobrar e perfurar o papel, é frequentemente usado para aferir das capacidades de visualização espacial das pessoas. No nosso caso, usamos esta atividade para aferir, desenvolver e melhorar as capacidades de visualização espacial do aluno. Neste tipo de atividade, os alunos devem imaginar que estão a dobrar papel e perfurar esse papel dobrado. De seguida devem imaginar que desdobram o papel e devem identificar a posição dos furos no papel, ver Figura 2.
- Memory Transfer Language (MTL) é um conjunto de atividades de manipulação de instruções simples de um

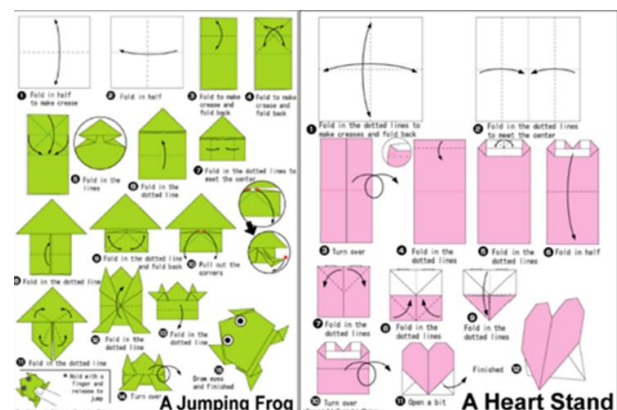


Figura .1. Exemplo de origami: a jumping frog, a heart stand.

programa e representa-las na memória do computador. Este tipo de atividade permite superar alguns problemas detetados na construção do conhecimento na aprendizagem da programação, particularmente na representação de variáveis e instruções de atribuição. A metodologia utilizada para implementar este tipo de atividade baseia-se numa tabela, ver , representando a memória do computador, onde o aluno vai representado passo a passo as instruções, ver Figura , de um programa simples [41].

- Parson Problems são atividades usadas na aprendizagem da programação, onde o aluno deve selecionar e organizar de um conjunto de instruções, as instruções para completar um determinado objetivo [42]–[44].

C. Descrição e Resultados do Estudo.

Foram desenvolvidos duas atividades. Uma atividade com 20 exercícios de papel dobrado e perfurado (PH – Punched Holes) e outro com 5 exercícios de seguir e dar instruções (FGI – Follow and Give Instructions). Efetuaram estas atividades 46 alunos. A atividade PH foi avaliada pelo número de respostas corretas. A atividade de FGI foi classificada de acordo com uma escala de valor zero, para os alunos que não responderam, até a um valor de quatro, para os alunos que responderam corretamente com detalhe e utilizando referências espaciais. Na TABELA I podemos observar os resultados da primeira atividade PH.

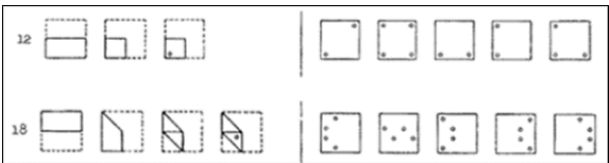


Figura .2. Exemplo Papel dobrado perfurado, adaptado de [39].

Random Access Memory			
1001		1016	
1002		1017	
1003		1018	
1004		1019	
1005		1020	
1006		1021	
1007		1022	
1008		1023	
1009		1024	
1010		1025	
1011		1026	
1012		1027	
1013		1028	
1014		1029	
1015		1030	

Figura .3. Grelha para representação das instruções das atividades MTL.

Program 1 begin int x, y read x read x, y write y, x, y end What is the expected output if you enter the values 3, 6, 9?	Program 2 begin int x, y read x read x read y write y, x, x end What is the expected output if you enter the values 3, 6, 9?	Programa 3 begin int x, y x = 5 y = x x = x + 5 y = x + 5 write x, y end What is the expected output?
--	---	---

Figura .4. Exemplos de programas para atividades MTL.

Na primeira linha da tabela, $PH < 10$, 9 dos 46 alunos obtiveram um resultado inferior a 10 respostas corretas. Dos 9 alunos, 6 concluíram a unidade curricular de introdução à programação, do curso de engenharia informática, com sucesso.

Como podemos facilmente verificar na **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, 20 alunos obtiveram um resultado de $FGI \geq 3$, desses alunos 18 completaram com sucesso a unidade curricular de introdução à programação, o que corresponde a uma percentagem de 90%.

Na TABELA III, apresentamos os resultados combinados para as duas atividades. É de salientar os resultados obtidos para a atividade $FGI \geq 3$. Os resultados são de 100%, 88,9% e 100% para os diferentes resultados de PH. Com estes resultados estamos em querer que a atividade de seguir e dar instruções (FGI - Follow and Give Instructions) tem uma forte influência no sucesso da unidade curricular de introdução à programação. Pois dos 35 alunos que foram avaliados com $FGI \geq 3$, 33 obtiveram sucesso na unidade curricular de introdução à programação, o que corresponde uma percentagem de 94,2%.

IV. PRATICAR PENSAMENTO COMPUTACIONAL

Estudos demonstraram a relação entre o estilo e o nível de detalhe na descrição e construção de mapas com os objetivos de um curso de programação [35] . De acordo com os nossos resultados, também podemos afirmar que existe uma forte relação entre o estilo e o nível de detalhe usado na descrição das instruções a seguir, quer no desenho de objetos e mapas, ou seja nas atividades de FGI, como os objetivos da unidade curricular de introdução à programação, do curso de engenharia informática do IPG.

TABELA I
RESULTADOS DA ATIVIDADE PH.

		Success	%
PH < 10	9	6	66,7%
PH >= 10	37	25	67,6%
PH >= 14	27	21	77,8%

TABELA II
RESULTADOS DA ATIVIDADE FGI.

		Success	%
FGI < 3	26	13	50,0%
FGI >= 3	20	18	90,0%

TABELA III
RESULTADOS COMBINADOS PH E FGI.

		Success	%
PH < 10 and FGI < 3	7	4	57,1%
PH < 10 and FGI >= 3	2	2	100,0%
PH >= 10 and FGI < 3	19	9	47,4%
PH >= 10 and FGI >= 3	18	16	88,9%
PH >= 14 and FGI < 3	10	6	60,0%
PH >= 14 and FGI >= 3	15	15	100,0%

A. Praticar Desenho de Mapas e Seguir e Dar Instruções

Com base na nossa experiência, pretendemos implementar um conjunto de exercícios para trabalhar e estudar esta metodologia, com o intuito de melhorar as competências dos alunos em pensamento computacional e programação. Nestas atividades, serão avaliados o nível de detalhe e a clareza na descrição que conduz à resolução do problema. Alguns exemplos:

- Seguir e dar instruções, ou perguntar e dar direções de localização, como a metodologia usada nos cursos de línguas, onde com base em mapas fornecidos aos alunos, como os da Figura 5 e da Figura 6, os alunos devem descrever detalhadamente o caminho necessário para se deslocar de um ponto A para um ponto B.
- Seguir e dar instruções também deve incluir atividades em que os alunos devem desenhar, numa folha de papel, de acordo com as instruções dadas por outro aluno, ou pelo professor, como os exemplos da Figura 7 e da Figura 8.

B. Aprender pela Experiência de Ensinar

Os benefícios de utilizar a experiência de ensinar para aprender são amplamente conhecidas. As pessoas aprendem mais e melhor se tiverem a necessidade de ensinar a outros, sugerem os autores do trabalho realizado em [45]. Em função destes resultados, vamos implementar atividades onde os alunos devem preparar uma atividade, lição, para outros alunos, sejam eles os próprios colegas ou alunos de outras escolas e de idades inferiores. Esta atividade deve ter por objetivo o desenvolvimento do pensamento computacional. Estas atividades podem ter também como objetivo a participação na “Hora do Código”. Estas atividades podem, também, ser utilizadas como um meio de divulgação e promoção do pensamento computacional e programação pelas escolas da região da Guarda, Portugal, realizadas pelos alunos com a supervisão dos professores.

V. CONCLUSÃO

Neste artigo, apresentamos algumas ferramentas que desenvolvem e melhoram as competências do pensamento computacional. No entanto, essas ferramentas devem ser utilizadas ao longo de todo o processo de aprendizagem, elas devem ser manipuladas e exploradas desde os 3 anos de idade aos 18 anos, a idade em que habitualmente os alunos ingressam no ensino superior [46], [47]. O sistema de ensino em Portugal começa agora a dar os primeiros passos na implementação do pensamento computacional como componente curricular ou extracurricular. Como é o caso da programação e robótica no ensino básico [48]. A maioria dos alunos do primeiro ano do curso de engenharia informática, do IPG, nunca teve a oportunidade de desenvolver o pensamento computacional ao longo da sua vida estudantil. Assim sendo, as dificuldades de aprendizagem nos primeiros anos nas unidades curriculares de programação são uma preocupação constante. É necessário trabalhar esses alunos de uma forma rápida e efetiva, antes que a falta de interesse e motivação tome conta destes alunos.

Com este trabalho, pretendemos apresentar a nossa ideia e divulgar os resultados obtidos com as nossas atividades de seguir e dar instruções. Acharmos os resultados bastante interessantes e, portanto, devem ser explorados. Como tal, sugerimos um conjunto de atividades para testar com os



Figura .5. Mapa 1 a utilizar em exercícios de dar direções.

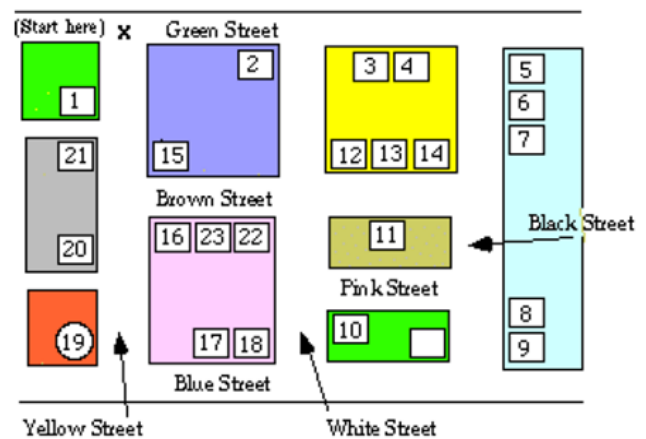


Figura .6. Mapa 2 a utilizar em exercícios de dar direções.



Figura .7. Imagem a utilizar em atividades de seguir e dar instruções.

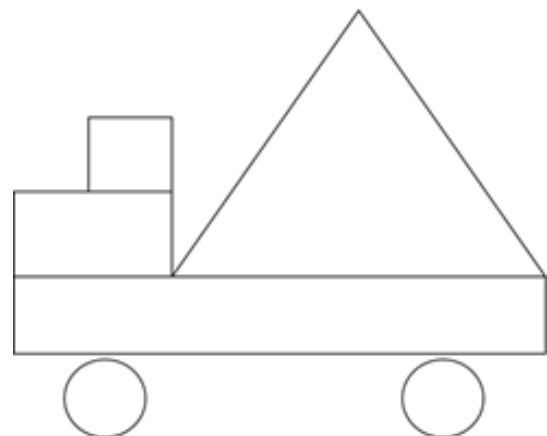


Figura .8. Imagem a utilizar em atividades de seguir e dar instruções.

alunos. Existem muitas estratégias que os professores podem utilizar para aumentar as competências dos estudantes com dificuldades na aprendizagem nas ciências da computação. Sendo educação computacional e, especialmente o pensamento computacional, uma área relativamente nova,

quando comparada com áreas como as matemáticas, física ou línguas, muitos dos educadores não sabem como lidar e o que oferecer para apoiar os alunos com mais dificuldades de aprendizagem na área das ciências da computação. Neste artigo, sugerimos algumas estratégias e recursos que os professores podem implementar para apoiar os seus alunos.

REFERENCES

- [1] J. M. Wing, "Computational thinking," *Commun. ACM*, vol. 49, no. 3, p. 33, Mar. 2006.
- [2] F. J. García-Peñalvo, "What Computational Thinking Is," *J. Inf. Technol. Res.*, vol. 9, no. 93, 2016.
- [3] F. J. García-Peñalvo and J. Cruz-Benito, "Computational thinking in pre-university education," in *Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality - TEEM '16*, 2016, pp. 13–17.
- [4] F. J. García-Peñalvo and A. J. Mendes, "Exploring the computational thinking effects in pre-university education," *Comput. Human Behav.*, Dec. 2017.
- [5] *A Framework for K-12 Science Education*. Washington, D.C.: National Academies Press, 2012.
- [6] "STEM." [Online]. Available: <https://www.stem.org.uk/>. [Accessed: 06-Jul-2017].
- [7] M. Israel, Q. M. Wherfel, J. Pearson, S. Shehab, and T. Tapia, "Empowering K-12 Students with Disabilities to Learn Computational Thinking and Computer Programming," vol. 48, no. 1 OP-TEACHING Exceptional Children, v48 n1 p45-53 Sep-Oct 2015. 9, p. 45, 2015.
- [8] F. J. García-Peñalvo, J. Hughes, A. Rees, I. Jormanainen, T. Toivonen, D. Reimann, M. Tuul, and M. Virnes, "Evaluation Of Existing Resources (Study/Analysis)," Jan. 2016.
- [9] "Alice – Tell Stories. Build Games. Learn to Program." [Online]. Available: <http://www.alice.org/>. [Accessed: 05-Jul-2017].
- [10] "Home - Barefoot Computing Barefoot Computing." [Online]. Available: <https://barefootcas.org.uk/>. [Accessed: 05-Jul-2017].
- [11] "techliteracy." [Online]. Available: <https://techliteracy.co.uk/>. [Accessed: 06-Jul-2017].
- [12] "Computing At School." [Online]. Available: <http://www.computingschool.org.uk/>. [Accessed: 06-Jul-2017].
- [13] "Blockly | Google Developers." [Online]. Available: <https://developers.google.com/blockly/>. [Accessed: 06-Jul-2017].
- [14] "CodeCombat - Learn how to code by playing a game." [Online]. Available: <https://codecombat.com/>. [Accessed: 05-Jul-2017].
- [15] "Computer Science Education Week." [Online]. Available: <https://cseweek.org/>. [Accessed: 05-Jul-2017].
- [16] "Cubetto: A robot teaching kids code & computer programming." [Online]. Available: <https://www.primotoys.com/>. [Accessed: 06-Aug-2017].
- [17] "Computer Science Unplugged." [Online]. Available: <http://csunplugged.org/>. [Accessed: 05-Jul-2017].
- [18] "Greenfoot | About Greenfoot." [Online]. Available: <https://www.greenfoot.org/overview>. [Accessed: 07-Jul-2017].
- [19] "Khan Academy | Free Online Courses, Lessons & Practice." [Online]. Available: <https://www.khanacademy.org/>. [Accessed: 05-Jul-2017].
- [20] "Programming for Kids | Kodable." [Online]. Available: <https://www.kodable.com/>. [Accessed: 05-Jul-2017].
- [21] Microsoft Research - FuseLabs, "Kodu | Home." [Online]. Available: <https://www.kodugamelab.com/>. [Accessed: 21-Dec-2017].
- [22] "Lightbot." [Online]. Available: <https://lightbot.com/flash.html>. [Accessed: 05-Jul-2017].
- [23] LiveCode Ltd, "LiveCode in Education | LiveCode." [Online]. Available: <https://livecode.com/products/livecode-platform/livecode-in-education/>. [Accessed: 06-Jul-2017].
- [24] "MIT App Inventor." [Online]. Available: <http://ai2.appinventor.mit.edu/>. [Accessed: 05-Jul-2017].
- [25] "App Inventor for Educators – MIT App Inventor Educators Community." [Online]. Available: <http://teach.appinventor.mit.edu/>. [Accessed: 06-Jul-2017].
- [26] "Scratch - Imagine, Program, Share." [Online]. Available: <https://scratch.mit.edu/>. [Accessed: 05-Jul-2017].
- [27] "Snap! (Build Your Own Blocks) 4.0." [Online]. Available: <http://snap.berkeley.edu/index.html>. [Accessed: 10-Jul-2017].
- [28] "Taccle 3 – Supporting primary teachers to teach coding." [Online]. Available: <http://www.taccle3.eu/en/>. [Accessed: 05-Jul-2017].
- [29] F. J. García-peñalvo, "A brief introduction to TACCLE 3 – Coding European Project," pp. 3–6, 2016.
- [30] F. J. García-Peñalvo, D. Reimann, M. Tuul, A. Rees, and I. Jormanainen, "TACCLE 3, O5: An overview of the most relevant literature on coding and computational thinking with emphasis on the relevant issues for teachers KA2 project " TACCLE 3 – Coding " (2015-1-BE02-KA201-012307)," in *TACCLE3 Consortium*, 2016, p. 72.
- [31] F. J. García-Peñalvo, "Proyecto TACCLE3 – Coding," in *Ediciones Universidad de Salamanca - XVIII Simposio Internacional de Informática Educativa.*, 2016, pp. 187–189.
- [32] "Microsoft Touch Develop - create apps everywhere, on all your devices!" [Online]. Available: <https://www.touchdevelop.com/>. [Accessed: 06-Jul-2017].
- [33] "Coding for Kids | Tynker." [Online]. Available: <https://www.tynker.com/>. [Accessed: 05-Jul-2017].
- [34] J. Figueiredo, N. Gomes, and F. J. García-Peñalvo, "Ne-course for learning programming," in *Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality - TEEM '16*, 2016, pp. 549–553.
- [35] S. Fincher, B. Baker, I. Box, Q. Cutts, M. De Raadt, P. Haden, J. Hamer, R. Lister, M. Petre, A. Robins, K. Sutton, D. Tolhurst, and J. Tutty, "Computer Science at Kent programming courses," no. 1, 2005.
- [36] Simon, S. Fincher, A. Robins, B. Baker, I. Box, Q. Cutts, M. De Raadt, P. Haden, J. Hamer, M. Hamilton, R. Lister, M. Petre, K. Sutton, D. Tolhurst, and J. Tutty, "Predictors of success in a first programming course," *Proc. 8th Australian Conf. Comput. Educ. - Vol. 52*, pp. 189–196, 2006.
- [37] N. E. Study, "An Overview of Tests of Cognitive Spatial Ability," *66th EDGD Mid-Year Conf. Proc.*, p. 6, 2012.
- [38] Z. Falomir, "Towards A Qualitative Descriptor for Paper Folding Reasonin," in *Proc. of the 29th International Workshop on Qualitative Reasoning (QR'16)*, 2016.
- [39] A. J. Jaeger, J. Wiley, J. Pellegrino, K. Zinsser, M. Stieff, and T. Moher, "What Does the Punched Holes Task Measure?," 2015.
- [40] S. Cooper, K. Wang, M. Israni, and S. Sorby, "Spatial Skills Training in Introductory Computing," *Proc. Elev. Annu. Int. Conf. Int. Comput. Educ. Res.*, pp. 13–20, 2015.
- [41] L. J. Mselle and H. Twaakondo, "The impact of Memory Transfer Language (MTL) on reducing misconceptions in teaching programming to novices," *Int. J. Mach. Learn. Appl.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, May 2012.
- [42] B. J. Ericson, "Adaptive Parsons Problems with Discourse Rules," *Icer '14*, pp. 145–146, 2014.
- [43] P. Denny, A. Luxton-Reilly, and B. Simon, "Evaluating a new exam question: Parsons problems," *Proc. fourth Int. Work. Comput. Educ. Res.*, pp. 113–124, 2008.
- [44] B. B. Morrison, L. E. Margulieux, B. Ericson, and M. Guzdial, "Subgoals Help Students Solve Parsons Problems," *Proc. 47th ACM Tech. Symp. Comput. Sci. Educ.*, pp. 42–47, 2016.
- [45] J. F. Nestojko, D. C. Bui, N. Kornell, and E. L. Bjork, "Expecting to teach enhances learning and organization of knowledge in free recall of text passages," *Mem. Cognit.*, vol. 42, no. 7, pp. 1038–1048, 2014.
- [46] F. J. García-Peñalvo, F. L. Largo, X. M. Prieto, and E. Vendrell, "Educación en Informática sub 18 (EI<18)," *ReVisión*, pp. 13–18.
- [47] F. L. Largo, F. J. García-Peñalvo, X. M. Prieto, and E. V. Vidal, "La enseñanza de la informática, la programación y el pensamiento computacional en los estudios preuniversitarios," in *Education in the Knowledge Society*, 2017, pp. 7–17.
- [48] ERTE - Equipa de Recursos e Tecnologias Educativas - Ministério da Educação, "Programação e Robótica no Ensino Básico | ERTE." [Online]. Available: <http://erte.dge.mec.pt/programacao-e-robotica-no-ensino-basico-0>. [Accessed: 21-Dec-2017].



José Alberto Quitério Figueiredo licenciado em Engenharia Informática pelo Instituto Politécnico da Guarda, Portugal. Possui mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. Atualmente é doutorando em Engenharia Informática, no Departamento de Informática y Automática da Facultad de Ciencias, da Universidad de Salamanca, Espanha. É docente na Escola Superior de Tecnologia e Gestão, do Instituto Politécnico da Guarda, Portugal, desde 1992, na área de Programação e Multimédia.



Francisco José García Peñalvo bacharel em computação pela Universidade de Salamanca, Espanha, e pela Universidade de Valladolid, Espanha. Doutorado pela Universidade de Salamanca, Espanha. Atualmente é o Diretor do grupo de investigação Research Group in Interaction and e-Learning (GRIAL). As suas principais áreas de investigação centram-se em e-Learning, computers and education, adaptive systems, web engineering, semantic web, e reutilização de software. Liderou e participou em mais de 50 projetos de investigação e inovação. Foi Vice-Chanceler Technological Innovation da Universidade de Salamanca, entre Março de 2007 e Dezembro de 2009. Publicou mais de 200 artigos em revistas e conferências internacionais. Foi editor convidado em várias edições especiais de revistas internacionais (Online Information Review, Computers in Human Behavior, and Interactive Learning Environments). É o editor chefe da revista Education in the Knowledge Society, e de the Journal of Information Technology Research. É o coordenador do programa de doutoramento em Educação da Sociedade do Conhecimento, da Universidade de Salamanca.

Capítulo 15

Una Experiencia (Relativamente) Insatisfactoria de Uso de Scratch en CS1

José-Alfredo Martínez-Valdés y J. Ángel Velázquez-Iturbide, *Senior Member, IEEE*

Title— A (Relatively) Unsatisfactory Experience of Use of Scratch in CS1.

Abstract— Scratch is a “rich-media programming language” that has become very popular at high school because students may very quickly learn it and produce surprisingly animated programs. Consequently, some instructors have proposed using Scratch in introductory programming courses at the university. Their experiences report on students’ high motivation and sometimes also on higher performance. We adopted Scratch as the introductory programming language for a CS1 course in a videogames major. It was used for two weeks and then the course switched to using Java. The results we obtained for both the Scratch language and the Dr. Scratch tool were less satisfactory than expected and, in some regards, disappointing. We describe our experience, analyze students’ acceptance and discuss some lessons learnt to use Scratch in university courses.

Keywords—Computer science education; human factors.

Resumen— Scratch es un “lenguaje de programación multimedia” que se ha hecho muy popular en los institutos porque muy rápidamente los alumnos lo aprenden y producen espectaculares programas animados. En consecuencia, algunos profesores han propuesto usar Scratch en las asignaturas de introducción a la programación de la universidad. Sus experiencias han mostrado alta motivación de los alumnos y a veces también mayor rendimiento académico. En este contexto, hemos adoptado Scratch como el lenguaje de introducción a la programación en un grado de videojuegos. Se utilizó durante dos semanas y posteriormente se cambió a Java. Los resultados obtenidos tanto para el lenguaje Scratch como para la herramienta Dr. Scratch fueron menos satisfactorios de lo esperado y, en algunos aspectos, desilusionantes. En este capítulo describimos nuestra experiencia, analizamos su

aceptación por los alumnos y presentamos algunas lecciones aprendidas sobre el uso de Scratch en la universidad.

Palabras clave— enseñanza de la programación; factores humanos.

I. INTRODUCCIÓN

SCRATCH es un “lenguaje de programación multimedia” [1] que se ha hecho muy popular en los institutos, sobre todo como medio de desarrollar el pensamiento computacional [2][3]. Scratch presenta varias características que facilitan su aprendizaje. Primero, no es necesario aprender los detalles de la sintaxis de un lenguaje de programación, sino que sólo hay que recordar los nombres de las instrucciones (a veces, incluso basta con conocer sólo el efecto que producen) y seleccionarlos. Segundo, la naturaleza multimedia de los proyectos Scratch exige a los alumnos menos esfuerzo de abstracción que los tradicionales problemas numéricos o de procesamiento de información. Tercero, la inmediata realimentación visual y auditiva facilita las tareas de crear y depurar programas y aumenta la motivación de los alumnos. Cuarto, Scratch es más flexible y potente que otros esfuerzos similares del pasado, como Logo [4]. A partir de una metáfora de Seymour Papert, se ha dicho que Scratch tiene “suelo bajo, techo alto y paredes amplias” [1], es decir, es un lenguaje con el que resulta fácil iniciarse, crear proyectos de complejidad creciente en el tiempo y crear diferentes clases de proyectos. En consecuencia, los alumnos novatos pueden producir programas llamativos y complejos tras sólo unos pocos días de experiencia de programación. Finalmente, Scratch proporciona la oportunidad de colaborar y compartir a través de una comunidad web.

Estas características hacen de Scratch un lenguaje de programación también atractivo en la universidad [5]. Las investigaciones sobre aprendizaje de la programación en la universidad han permitido identificar diversas dificultades y formas de afrontarlas [6]. Los lenguajes basados en bloques [7], como Scratch, ofrecen la posibilidad de reducir algunas de estas dificultades. Actualmente existen varias experiencias

Este trabajo se presentó originalmente en la *5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'07)*.

Este trabajo se ha financiado con los proyectos de investigación TIN2015-66731-C2-1-R del Ministerio de Economía y Competitividad y S2013/ICE-2715 de la Comunidad Autónoma de Madrid.

José-Alfredo Martínez-Valdés trabaja en la Institución Educativa Sagrada Familia, Palmira, Valle del Cauca, Colombia (phone +573017690703; +5723069759; e-mail: ja.martinezv@alumnos.urjc.es).

J. Ángel Velázquez-Iturbide es profesor del Departamento de Informática y Estadística, Universidad Rey Juan Carlos, 28933 Móstoles, Madrid, España (phone: +34 91 664 74 54; fax: +34 91 488 85 30; e-mail: angel.velazquez@urjc.es).

de uso de Scratch en asignaturas introductorias a la programación. Malan y Leitner [8] describen el uso de Scratch en un curso cero de verano sobre informática (CS0 en la terminología anglosajona). Dedicaron dos clases y dos prácticas a Scratch. Los alumnos se implicaron en el desarrollo de sus proyectos y les dedicaron más horas de las esperadas. Además, la mayoría de los alumnos sin experiencia previa en programación consideraron que Scratch les había ayudado a aprender a programar. Rizvi *et al.* [9] describen un curso CS0 de un semestre de duración ofertado para mejorar la permanencia, rendimiento y actitudes de los alumnos en riesgo de abandonar sus estudios. Una evaluación indicó que el curso ayudó a los alumnos con respecto a su autoeficacia percibida y su rendimiento.

Mishra y sus colegas [10] presentan una experiencia similar en una asignatura de introducción a la programación (CS1). Las dos primeras semanas se empezó con Scratch y luego se cambió a C++. Al igual que en la experiencia anterior, estos autores afirman que los alumnos estuvieron implicados y satisfechos. La experiencia fue satisfactoria tanto para los alumnos novatos como para los experimentados: los primeros aprendieron con poco esfuerzo y los segundos estuvieron motivados para abordar retos más complejos.

Nuestra motivación para usar Scratch en una asignatura de CS1 en un grado de videojuegos fue parecida a las experiencias anteriores. Sabíamos que los alumnos tenían distintos perfiles y pensamos que les motivaría usar Scratch al comienzo de la asignatura. En concreto, teníamos esta expectativa con los alumnos de nuevo ingreso sin experiencia de programación (que suelen tener un perfil “artístico”). Se usó Scratch durante dos semanas y después se cambió a Java. Sin embargo, los resultados que obtuvimos tanto para el lenguaje Scratch como para la herramienta Dr. Scratch no fueron tan satisfactorios como esperábamos. En el artículo, presentamos nuestra experiencia, analizamos su aceptación por los alumnos y comentamos algunas lecciones aprendidas sobre el uso de Scratch en asignaturas universitarias.

La estructura del capítulo es la siguiente. En la sección segunda, describimos la planificación de la investigación, incluyendo la asignatura, las preguntas de nuestra investigación y los instrumentos de recogida de datos. La sección tercera presenta los resultados de analizar los datos recogidos por distintos medios. Finalmente, las secciones 4 y 5 incluyen, respectivamente, un comentario de los resultados y nuestras conclusiones.

II. PLANIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección, describimos la asignatura, las preguntas de la investigación y los instrumentos usados.

A. La Asignatura

La asignatura “Programación visual” es una asignatura de introducción a la programación del Grado en Diseño y Desarrollo de Videojuegos. La asignatura tiene asignadas dos horas semanales para clases presenciales y otras dos horas para actividades en el aula informática.

El grado en videojuegos tiene algunas características que le diferencian de los grados tradicionales de informática. Se imparten algunas asignaturas que tradicionalmente han sido objeto de estudio en grados de arte o de diseño. Por tanto,

junto a alumnos que responden al estereotipo de un alumno técnico, otros responden a un perfil más “artístico”.

Afrontamos esta diversidad de alumnado en la asignatura comenzando con la introducción de un lenguaje de bloques y el cambio posterior a un lenguaje de programación textual, como Java. Se enseñó Scratch durante dos semanas y los alumnos debían entregar una práctica en la segunda semana. La evaluación se realizó en el primer cuatrimestre del curso académico 2016-17, aunque la asignatura ya había tenido esta organización en los dos cursos anteriores.

Para la práctica con Scratch, los alumnos eran libres de elegir el tema, pero tenían que utilizar varios elementos del lenguaje, entre ellos bucles, eventos, operadores y variables. La práctica se evaluó teniendo en cuenta el uso de elementos de Scratch y la funcionalidad e interfaz del proyecto.

Las prácticas también fueron evaluadas con la herramienta Dr. Scratch [11][12]. Dr. Scratch evalúa proyectos Scratch con respecto a 7 “dimensiones”: pensamiento lógico, representación de datos, interactividad del usuario, control del flujo, abstracción y descomposición de problemas, paralelismo, y sincronización [11]. No damos aquí una definición detallada de las dimensiones ya que sus nombres son bastante descriptivos para una comprensión general (sin embargo, entramos en algo más de detalle en la sección de comentarios). Un proyecto puede recibir una puntuación para cada dimensión que varía entre el nivel 0 y 3, dependiendo del nivel de sofisticación que muestra el código del proyecto. Además, Dr. Scratch puede cuantificar cuatro potenciales malos hábitos [12]: atributos inicializados incorrectamente, nombres inadecuados de personajes, código duplicado y código muerto.

B. Los Alumnos

La asignatura de “Programación visual” del grado de videojuegos tenía un total de 93 alumnos matriculados en el curso académico 2016-17. Aunque los profesores sabían que los alumnos respondían a un perfil distinto del de los alumnos matriculados en grados en informática, no se había realizado ningún estudio riguroso. Pensamos que la información de matriculación era importante en sí misma y también podía ser relevante para el análisis de otros datos recopilados. Además, pensamos que los alumnos con distintos perfiles tendrían distintas expectativas y capacidades y, por tanto, podrían tener rendimiento y opiniones diferentes. Finalmente, Scratch permite crear con poco esfuerzo animaciones llamativas, lo cual parecía ser una buena forma de motivar a alumnos interesados en videojuegos.

Pedimos a los alumnos que, en su primer día de clase, rellenaran un cuestionario sobre información personal. Algunas preguntas preguntaban por datos objetivos mientras que otras pedían una clasificación subjetiva.

El cuestionario constaba de siete preguntas sobre:

- Datos personales (nombre, género y número de identificación).
- Perfil. Les pedimos a los alumnos que se autoclasificaran en una de las siguientes categorías: técnico, artístico, ambos o indefinido.
- Conocimientos de programación. Se preguntó si tenían conocimientos de programación y, en caso afirmativo, qué elementos de lenguaje conocían (de una lista cerrada) y qué lenguajes de programación conocían.

Los resultados de este cuestionario se presentan en la tercera sección.

C. Preguntas de la Investigación e Instrumentos de Medida

Abordamos dos preguntas en la investigación:

PI1. ¿Cuál es el rendimiento de los alumnos con Dr. Scratch y su opinión sobre las puntuaciones dadas por Dr. Scratch?

PI2. ¿Aceptan los alumnos el uso de Scratch como lenguaje introductorio a Java (y a la programación en general)?

Veamos los datos recogidos y los análisis realizados para responder a estas preguntas. Para PI1, se pidió a los alumnos que rellenaran un cuestionario online. Se les pidió que copiaran todos los resultados dados por Dr. Scratch a sus proyectos. Además, se pidió a los alumnos que juzgaran cuánto les había ayudado la evaluación dada por Dr. Scratch para mejorar sus habilidades de programación. Se hizo la siguiente pregunta: “¿Piensas que (Dr. Scratch) te ha ayudado a ser consciente de los aspectos en los que debes perseverar y cómo?”.

Para PI2, se preparó y envió un cuestionario al final del curso. El cuestionario constaba de 4 preguntas abiertas que pedían a los alumnos que identificaran las partes de la asignatura que incluirían o suprimirían, o a las que dedicarían más o menos tiempo.

Tal y como explicamos en la siguiente sección, algunos alumnos proponían suprimir Scratch. Para aclarar este punto, hicimos dos preguntas en junio a los alumnos que suspendieron en enero. En el cuestionario, se explicaba primero el motivo de estas preguntas y después se hacían las siguientes preguntas: “¿Estás de acuerdo en suprimir Scratch de la asignatura? ¿Por qué?”.

Las preguntas de múltiples opciones se han analizado usando estadística descriptiva o inferencial, según el caso. Las preguntas abiertas se analizaron con métodos cualitativos. En concreto, se analizaron según los principios de la teoría fundamentada (*grounded theory*) [13]. Dado que las preguntas abiertas eran muy concretas, no hubo una gran variedad de respuestas y la mayoría de las categorías eran previsibles.

III. RESULTADOS

Presentamos en esta sección los resultados de nuestra investigación. Primero presentamos las características de los alumnos matriculados y después, nuestros hallazgos sobre las dos preguntas de investigación.

A. Los Alumnos

Recogimos 87 cuestionarios rellenos del cuestionario inicial. Los resultados se resumen en la Tabla I.

Obsérvese que la mayoría de los alumnos son hombres y no repetidores. Sin embargo, existe un equilibrio entre alumnos técnicos y artísticos, y entre alumnos con y sin conocimientos de programación.

Obviamente, hay diferencias en el conocimiento de programación entre alumnos repetidores y no repetidores. Sólo había un alumno repetidor que no conocía ningún lenguaje de programación, frente a un 63% de no repetidores. El lenguaje de programación más conocido por todos los alumnos fue Java, empatado con C en el caso de los alumnos no repetidores. Sorprendentemente, sólo había un alumno que conociera Scratch, y era no repetidor.

B. Rendimiento según Dr. Scratch y su Aceptación

Se recogieron 89 prácticas. Veamos resultado de su análisis.

1) Rendimiento según Dr. Scratch.

Usamos las calificaciones de Dr. Scratch como la medida del rendimiento de los alumnos en el manejo de Scratch. Dr. Scratch califica cada dimensión de un proyecto Scratch con un valor que oscila entre 0 y 3. Dado que hay 7 dimensiones, la calificación global puede variar entre 0 y 21.

Los proyectos entregados recibieron calificaciones comprendidas entre 10 y 20 (véase la Tabla II). Si descomponemos las calificaciones totales en las siete dimensiones, obtenemos los datos más detallados mostrados en la Tabla III.

La Tabla IV da las cifras de los malos hábitos detectados por Dr. Scratch.

También indagamos si había alguna correlación entre las calificaciones y los distintos factores de la población (género, perfil, etc.) No encontramos ninguna correlación.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DE LOS ALUMNOS MATRICULADOS (N=87)

Factor	Valor	# alumnos	%
Género	Hombre	78	90%
	Mujer	9	10%
Perfil	Técnico	39	45%
	Artístico	42	48%
	Ambos	5	6%
	Indefinido	1	1%
Repetidor	Sí	15	17%
	No	72	83%
Conocimientos de programación	Sí	42	48%
	No	45	52%

TABLA II
CALIFICACIONES DADAS POR DR. SCRATCH (N=89)

Calificación	# alumnos	%
20	2	2%
19	1	1%
17	8	9%
16	8	9%
15	10	11%
14	18	20%
13	15	17%
12	14	16%
11	7	8%
10	6	7%

TABLA III
CALIFICACIONES DADAS POR SCRATCH, DESGLOSADAS EN DIMENSIONES (N=89)

Medida estadística	Dimensiones del pensamiento computacional*							Total
	PA	PL	FC	IN	RI	AB	SN	
Media	2'18	1'90	2'28	2'01	2'01	1'17	2'21	13'76
Desviación típica	0'90	0'98	0'45	0'11	0'18	0'55	0'73	2'23
Mediana	3	2	2	2	2	1	2	14
Moda	3	1	2	2	2	1	2	14
Mínimo	1	0	2	2	1	1	1	10
Máximo	3	3	3	3	3	3	3	20

*PA: paralelismo, PL: pensamiento lógico, FC: flujo del control, IN: interactividad, RI: representación de la información, AB: abstracción, SN: sincronización

TABLA IV
MALOS HÁBITOS DETECTADOS POR DR. SCRATCH (N=89)

Mal hábito	# alumnos	%
Atributos inicializados incorrectamente	87	98%
Nombres inadecuados de personajes	47	53%
Código duplicado	25	28%
Código muerto	7	8%

2) Aceptación de Dr. Scratch

Junto al rendimiento, se analizó la opinión de los alumnos sobre la utilidad de Dr. Scratch para mejorar sus habilidades de codificación. La Tabla V muestra las respuestas dadas por los alumnos a las preguntas abiertas sobre si Dr. Scratch les había ayudado a codificar mejor, y cómo. La categoría “sí, pero...” agrupa respuestas que son positivas pero matizadas, normalmente con algún aspecto negativo de Dr. Scratch. Un ejemplo de este tipo de respuesta es la siguiente: “Sí, aunque algunos errores (...) son, a mi entender, irrelevantes” (Alumno 71, representado A71).

La Tabla VI las opiniones de los alumnos sobre la manera en que Dr. Scratch les ayudó.

La Tabla VII muestra las opiniones negativas recogidas sobre Dr. Scratch.

Veamos con más detalle las tres primeras categorías:

- El alumno no está de acuerdo con los criterios de Dr. Scratch. Un alumno no está de acuerdo con tener que incluir en su programa elementos adicionales del lenguaje para aumentar la puntuación dada por Dr. Scratch cuando la funcionalidad del proyecto ya estaba satisfecha: “(...) y exige código, que en tu proyecto puede ser innecesario, para darte mayor puntuación.” (A72). Otros alumnos no están de acuerdo con que se les obligue a cambiar el nombre dado por Scratch a personajes o variables. Finalmente, algunos alumnos no están de acuerdo con otros criterios de evaluación.
- Dr. Scratch no evalúa la calidad global del programa. La mayor parte de los alumnos incluidos en esta categoría consideran que Dr. Scratch también debería evaluar el proyecto completo, no sólo aspectos parciales. Por ejemplo: “No exactamente. Mi juego lo jugué y lo di a probar a mis compañeros y pareció divertido, que es de lo que se trata un juego. Utilicé casi todas las funciones practicadas en clase, demostrando así los conocimientos adquiridos.” (A89).
- Funcionalidades de Dr. Scratch. Varios alumnos se quejaron de la difícil comprensión de los mensajes emitidos por Dr. Scratch. Otro alumno opinó que Dr. Scratch no evalúa coherentemente con sus propios criterios.

TABLA V
OPINIONES SOBRE LA UTILIDAD DE DR. SCRATCH (N=89)

Respuesta	# alumnos	%
En blanco	39	44%
Sí	27	30%
Sí, pero...	9	10%
No	14	16%

TABLA VI
OPINIONES POSITIVAS SOBRE DR. SCRATCH

Respuesta	# alumnos
Ayuda a programar mejor	11
Ayuda a usar mejor algún elemento de Scratch	8
Ayuda a conocer mejor Scratch	3

TABLA VII
OPINIONES NEGATIVAS SOBRE DR. SCRATCH

Respuesta	# alumnos
No está de acuerdo con los criterios de Dr. Scratch	8
Dr. Scratch no evalúa la calidad global del programa	5
Funcionalidades de Dr. Scratch	4
Dr. Scratch no guía para programar mejor	1

C. Aceptación de Scratch como Lenguaje de Introducción a la Programación

Presentamos los resultados de los dos cuestionarios elaborados para recoger las opiniones de los alumnos sobre el uso de Scratch como primer lenguaje antes de enseñarles Java.

1) Primer Cuestionario Final

Se recogieron 76 respuestas al cuestionario presentado en el examen final de enero. Las respuestas a las cuatro preguntas abiertas del cuestionario contenían diversas opiniones y sugerencias sobre la asignatura. Sin embargo, no conviene analizar directamente las respuestas por varias razones. Primero, algunas respuestas son más adecuadas para otras preguntas. Además, algunos alumnos dieron la misma opinión varias veces, en diferentes preguntas. Por último, algunas respuestas a una pregunta son compuestas, es decir, contienen varias opiniones sencillas.

Dada esta situación, realizamos dos operaciones sobre las respuestas para su análisis posterior: agrupamos las respuestas en dos grandes categorías (positivas y negativas) y descompusimos las respuestas de cada alumno en comentarios sencillos (eliminando los duplicados).

Hubo 7 comentarios (relativamente) positivos sobre el uso de Scratch en la asignatura. Pueden agruparse en dos categorías:

- Scratch es potencialmente útil como una introducción a Java, pero debería expresarse explícitamente la relación entre ambos lenguajes (5 respuestas).
- Scratch es útil como una introducción a la programación (2 respuestas).

Sin embargo, el número de opiniones negativas fue mucho mayor. Cuarenta y un alumnos (55% del total de respuestas) pensaban que Scratch debería eliminarse o se le debería dedicar menos tiempo en el temario. Estas respuestas negativas pueden agruparse en dos categorías:

- Debería eliminarse Scratch (17 alumnos, 23%).
- Debería reducirse el tiempo dedicado a Scratch (24 alumnos, 32%). Algunas respuestas concretan el tiempo que deberían dedicarse a Scratch, variando desde una sesión a dos semanas. Obsérvese que esta última sugerencia coincide con el tiempo que realmente se dedicó en este curso académico. Por tanto, parece conveniente tomar estas opiniones como la expresión de un sentimiento más que como una sugerencia meditada. Algunas sugerencias más específicas fueron las siguientes:
 - Cambiar parte del contenido de las clases de Scratch, cambiando el tipo de ejemplos o explicando mejor su relación con Java (2 alumnos).
 - Eliminar o cambiar el carácter de la práctica de obligatoria a voluntaria (2 alumnos).

2) Segundo Cuestionario Final

En el segundo examen final (en junio), queríamos obtener una confirmación de la opinión negativa de los alumnos sobre el uso de Scratch como una introducción a la programación y a Java. Les preguntamos explícitamente si estaban de acuerdo con suprimir Scratch de la asignatura.

Se recogieron 26 respuestas, como muestra la Tabla VIII.

Analizamos en detalle las razones dadas por los alumnos.

Primero dividimos las explicaciones en explicaciones sencillas, ya que algunos alumnos dieron varias razones. De esta forma, los 9 alumnos que estaban a favor de eliminar Scratch aportaron 14 razones sencillas. Las razones resultantes pueden clasificarse en tres categorías, como muestra la Tabla IX.

De la misma forma, analizamos las razones dadas por los alumnos que no estaban de acuerdo en eliminar Scratch. Obtuvimos 19 argumentos sencillos, que pueden agruparse en tres categorías (véase la Tabla X). Obsérvese, sin embargo, que la categoría más frecuente corresponde a una opinión negativa. Fue dada por alumnos que no estaban de acuerdo con eliminar completamente Scratch, pero que pensaban que debía acortarse el tiempo dedicado. En realidad, los 8 alumnos que dieron la segunda razón también dieron la primera.

IV. COMENTARIOS

Comentamos los resultados presentados en la sección anterior. Los resultados sobre matriculación son útiles porque confirman nuestras sospechas sobre el perfil dual de alumnos técnicos y artísticos. Para nuestra sorpresa, también muestran que Scratch no es tan conocido por los alumnos como esperábamos. Sin embargo, las características de los alumnos no es el objeto principal de nuestro estudio. Esperábamos encontrar alguna correlación entre algunos resultados y algún perfil, pero no fue así.

Por tanto, sólo comentamos los resultados obtenidos sobre Dr. Scratch y sobre Scratch.

A. Rendimiento de los Alumnos

Las puntuaciones dadas por Dr. Scratch están en la franja media de las posibles puntuaciones, con una media igual a 13'76 y con mediana y moda iguales a 14. Estos resultados son coherentes con otros resultados obtenidos por Moreno-León *et al.* [9]. En su estudio, alumnos de instituto obtuvieron valores respectivos de 11'5, 11 y 10 en las tres medidas anteriores. Dado que sus alumnos tenían entre 10 y 14 años de edad y que nuestros alumnos eran de primer año de Universidad, era de esperar un rendimiento mayor en éstos que en aquéllos.

Los resultados obtenidos en las siete dimensiones analizadas por Dr. Scratch son más difíciles de interpretar. Los alumnos obtuvieron más puntuación en algunas

dimensiones que en otras. En concreto, la puntuación obtenida en la dimensión de abstracción y descomposición de problemas (AB, 1'17) es mucho más baja que para el resto de dimensiones, cuya media es igual a 1'9 o más. El pensamiento lógico también puntúa menos que las demás dimensiones, pero las diferencias no son tan abruptas (PL, media=1'9, moda=1, mínimo=0). En el otro extremo, colocamos el paralelismo (PA, media=2'18, mediana=3), control del flujo (CF, media=2'28, mínimo=2), interactividad (IN, mínimo=2) y sincronización (SN, media=2'21).

Puede haber varias explicaciones para estos resultados dispares. Puede ser que algunas características de Scratch sean simplemente más intuitivas que otras. Por ejemplo, el paralelismo resulta natural en Scratch, al contrario que en otros lenguajes, como Java. También podría ser que algunas características sean más adecuadas que otras para implementar los proyectos más frecuentes de los alumnos (juegos, simulaciones, etc.) Por ejemplo, los clones (AB, nivel 3) son una característica avanzada y las operaciones lógicas (LT, nivel 3) no se utilizan con mucha frecuencia. Por el contrario, el bloque repetir-hasta (CF, nivel 3) o el bloque esperar-hasta (SN, nivel 3) se usan frecuentemente para implementar proyectos de complejidad no trivial. Una última explicación de los dispares resultados podría ser que el diseño de las dimensiones de Dr. Scratch y sus niveles deben revisarse. Estas cuestiones deberían abordarse en trabajos futuros.

B. Aceptación de las Puntuaciones de Dr. Scratch

El porcentaje de alumnos que consideraron que Dr. Scratch había sido útil (40%, contando las categorías “sí” y “sí, pero...”) es mayor que el de aquellos que tenían alguna opinión negativa (26%, contando las categorías “sí, pero...” y “no”). No obstante, el porcentaje de opiniones negativas es mayor de lo que nos parece deseable en una herramienta educativa.

Los alumnos con una opinión positiva afirmaban que Dr. Scratch les ayudó a codificar mejor. Aquellos que concretan más su opinión afirman que, gracias a Dr. Scratch, eran más conscientes de algunas características del lenguaje o que incluso habían sabido de su existencia.

Sin embargo, hay varias quejas sobre Dr. Scratch. Algunos alumnos se quejan de lo críptico que son sus mensajes. Esta crítica es similar al problema encontrado en programadores noveles para comprender los mensajes de compilación [14].

Otras críticas están relacionadas con el diseño actual de Dr. Scratch. La herramienta evalúa el uso de los distintos elementos del lenguaje por parte del usuario. En algunos contextos, el enunciado de una práctica puede expresarse en términos de los elementos del lenguaje a usar [8] (en realidad, así lo hicimos). Sin embargo, es más frecuente que el enunciado de una práctica se escriba en términos de la funcionalidad que debe tener el programa. Por esta razón, los alumnos se decepcionan cuando piensan que su programa está bien desarrollado (a veces de común acuerdo con sus compañeros) y Dr. Scratch sólo les da una puntuación media.

Otra posibilidad sería dejar que el profesor pueda seleccionar qué dimensiones quiere evaluar y el nivel de maestría que espera en cada dimensión. De esta manera, Dr. Scratch podría evaluar los proyectos de forma alineada con los objetivos de aprendizaje de la práctica.

TABLA VIII
OPINIONES SOBRE SUPRIMIR SCRATCH (N=26)

Respuesta	# alumnos	%	# alumnos que dan explicación
Sí	15	58%	9
No	11	42%	11

TABLA IX
RAZONES PARA SUPRIMIR SCRATCH (N=14)

Razón	# alumnos
No ayuda a aprender Java	7
El tiempo dedicado a Scratch podría dedicarse a otro tema	5
Se estudia en el instituto	2

TABLA X
RAZONES PARA NO SUPRIMIR SCRATCH (N=19)

Razón	# alumnos
Consume un tiempo que podría dedicarse a otro tema	9
Ayuda a aprender a programar	8
Es entretenido	2

C. Percepción de Scratch como Lenguaje de Introducción a la Programación

El resultado más inesperado fue el amplio consenso existente entre los alumnos en considerar que debería dedicarse menos tiempo a Scratch, o que incluso debería eliminarse. Obviamente, no se alcanzaron nuestras expectativas de diseño de la asignatura, ya que los alumnos no resultaron motivados. Hay varias razones por las que los alumnos pedían dedicar menos tiempo. Primero, algunos alumnos asocian Scratch con la educación preuniversitaria, por lo que le consideran un lenguaje para niños y “poco serio”. Un alumno utilizó justamente este calificativo en su respuesta al segundo cuestionario final: “No resulta útil para aprender la programación más «seria»” (A03). Otros alumnos afirman que, dado que el objetivo de aprender Scratch es facilitar el aprendizaje de Java, debería presentarse explícitamente la relación entre ambos lenguajes. Además, dado el poco tiempo dedicado a Scratch, debería ser voluntaria la realización de la práctica.

Algunas opiniones negativas afectan al profesor. Ya hemos visto que algunos alumnos piden explicaciones explícitas de la relación entre Scratch y Java. Además, algunos alumnos piden ejemplos más interesantes y menos rutinarios. Finalmente, los alumnos padecieron la falta de tiempo para estudiar el último tema de la asignatura. Por tanto, pensaban que si no se hubiera incluido Scratch, habría podido dedicarse más tiempo al último tema.

V. CONCLUSIONES

Hemos introducido Scratch en las primeras semanas de una asignatura de introducción a la programación (del grado de videojuegos). Sin embargo, los alumnos aceptaron peor la experiencia que en otras experiencias documentadas. La insatisfacción no solo afecta al lenguaje Scratch sino también a la herramienta de evaluación Dr. Scratch. Hemos señalado varias razones de esta insatisfacción. Con respecto a Dr. Scratch, se recomienda revisar los criterios de evaluación, y proporcionar un esquema de evaluación más flexible (donde la puntuación esperada no sea siempre 3 en todas las dimensiones). Además, los profesores no deberían usar las calificaciones de Dr. Scratch como el único dato para la nota sino que, al menos, deberían evaluar la funcionalidad del proyecto.

Con respecto al lenguaje Scratch, la conclusión principal es que una introducción informal a Scratch, como la realizada en diversas experiencias, es insatisfactoria para algunos alumnos universitarios. El profesor debería explicar que Scratch no es un lenguaje de programación ni “de juguete” ni para niños. Deberían presentarse explícitamente los conceptos de programación y la relación de las características de Scratch con las del siguiente lenguaje de programación. Finalmente, también debería revisarse el diseño de ejemplos y prácticas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Raquel Hijón Neira su ayuda en la asignatura “Programación Visual”.

REFERENCIAS

- [1] M. Resnick, J. Maloney, A. Monroy-Hernández, N. Rusk, E. Eastmond, K. Brennan, A. Millner, E. Rosenbaum, J. Silver, B. Silverman, e Y. Kafai, “Scratch: Programming for all,” *Communications of the ACM*, vol. 52, no. 11, pp. 60-67, 2009.
- [2] F. J. García-Peñalvo, D. Reimann, M. Tuul, A. Rees, e I. Jormanainen, “An overview of the most relevant literature on coding and computational thinking with emphasis on the relevant issues for teachers,” TACCLE3 Consortium; Bélgica.
- [3] S. Y. Lye, y J. H. L. Koh, “Review on teaching and learning of computational thinking through programming: What is next for K-12?,” *Computers in Human Behavior*, vol. 41, pp. 51-61, 2014.
- [4] S. Papert, *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. Nueva York: Basic Books, 1980.
- [5] U. Wolz, H. H. Leitner, D. J. Malan, y J. Maloney, “Starting with Scratch in CS 1,” en *Proc. 40th SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education. SIGCSE'09*. ACM, Nueva Nueva York, NY, 2009, pp. 2-3.
- [6] A. Robin, J. Roundtree, y N. Roundtree, “Learning and teaching programming: A review and discussion,” *Computer Science Education*, vol. 13, no. 2, pp. 137-172, 2003.
- [7] C. Kelleher, y R. Pausch, “Lowering the barriers to programming: A taxonomy of programming environments and languages for novice programmers,” *ACM Computing Surveys*, vol. 37, no. 2, pp. 83-137, 2005.
- [8] D. J. Malan, y H. H. Leitner, “Scratch for budding computer scientists,” en *Proc. 38th SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education. SIGCSE'07*. ACM, Nueva York, NY, 2007, pp. 223-227.
- [9] M. Rizvi, T. Humphries, D. Major, M. Jones, y H. Lauzun, “A CS0 course using Scratch,” *Journal of Computing Sciences in Colleges*, vol. 26, no. 3, pp. 19-27, enero 2011.
- [10] S. Mishra, S. Balan, S. Iyer, y S. Murthy, “Effect of a 2-week Scratch intervention in CS1 on learners with varying prior knowledge,” en *Proc. 2014 Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education. ITiCSE'14*. ACM, Nueva York, NY, 2014, pp. 45-50.
- [11] J. Moreno-León, M. Román-González, y G. Robles, “Dr. Scratch: Automatic analysis of Scratch projects to assess and foster computational thinking,” *RED. Revista de Educación a Distancia*, vol. 46, no. 10, 2015.
- [12] J. Moreno-León, y G. Robles, “Automatic detection of bad programming habits in Scratch: A preliminary study,” en *Proc. 2014 Frontiers in Education Conference. FIE 2014*, IEEE, 2014, pp. 1-4.
- [13] B. Glaser, y A. Strauss, *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. Chicago: Aldine, 1967.
- [14] B. A. Becker, G. Glanville, R. Iwashima, C. McDonnell, K. Goslin, y C. Mooney, “Effective compiler error message enhancement for novice programming students,” *Computer Science Education*, vol. 26, no. 2-3, pp. 148-175, 2016.



J. Ángel Velázquez Iturbide recibió los títulos de Licenciado y de Doctor en Informática por la Universidad Politécnica de Madrid, España, en los años 1985 y 1990, respectivamente. Actualmente es Catedrático de Universidad en la Universidad Rey Juan Carlos, donde también es el Director del Laboratorio de Tecnologías de la Información para la Educación (LITE, <http://www.lite.etsii.urjc.es/>). Sus áreas de investigación son *software* y metodologías docentes para la enseñanza de la programación y la visualización del *software*. Actualmente, es Presidente de la Asociación para el Desarrollo de la Informática Educativa (ADIE). Es miembro senior de IEEE (IEEE *Computer Society* e IEEE *Education Society*) y de ACM (y ACM SIGCSE).



José-Alfredo Martínez-Valdés recibió los títulos de Licenciado en Matemática y Física y de Especialista en Educación Matemática por la Universidad del Valle en 1994, Cali – Colombia; de Magíster en la Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales en 2011 por la Universidad Nacional de Colombia y de Máster en Ingeniería de Sistemas de Decisión 2011 por la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid, España. Actualmente es profesor a tiempo completo nombrado en propiedad en la Entidad Territorial Palmira, Ministerio de Educación de Colombia, donde se desempeña como profesor de Matemáticas y Tecnología e Informática. Además, es director del Grupo de Investigación Interacción Persona Ordenador en Bachillerato (IPOBA), registrado en COLCIENCIAS (<http://www.colciencias.gov.co/>)

Página en Blanco

Capítulo 16

Estudo Comparativo entre Laboratórios Remotos e Simuladores

Matheus Varela Branco, Letícia Aparecida Coelho, e Gustavo R. Alves, *Membro Sênior, IEEE*

Title— Comparative review between remote laboratories and simulators.

Abstract— Remote laboratories are agile and accessible tools, providing major access to the students through the concept of Education 4.0. These laboratories support the development of the users' analytical capacity, showing real results with external influences like thermal, electrical, magnetic or electromagnetic and the non-idealities related to the electronics components constructive aspects. In this context, this chapter explores the remote laboratories potential using real experiments on VISIR in comparison with simulations on PSIM and PROTEUS, looking for the differences between these two educational platforms.

Keywords— Open educational resources, Educational platforms, Engineering education.

Resumo— Os laboratórios remotos são ferramentas ágeis e acessíveis, proporcionando maior acesso aos alunos através do conceito de Educação 4.0. O uso destes laboratórios sugere o desenvolvimento da capacidade analítica dos usuários, apresentando resultados reais com influências externas como térmica, elétrica, magnética ou eletromagnética e ainda as não idealidades relacionadas aos aspectos construtivos de componentes eletrônicos. Assim, este capítulo propõe explorar o potencial dos laboratórios remotos realizando experimentações práticas reais no laboratório remoto VISIR em comparação a simulações no PSIM e PROTEUS, verificando as diferenças entre as plataformas.

Palavras-chave— Recursos educacionais abertos, Plataformas educacionais, Educação em Engenharia.

I. INTRODUÇÃO

O ensino de circuitos elétricos e eletrônicos é uma tarefa árdua para a qual são utilizadas as mais variadas ferramentas, como estudos de modelos matemáticos, laboratórios virtuais (simuladores), laboratórios tradicionais (i.e. presenciais) e laboratórios remotos, com intuito principal de ampliar a percepção dos alunos para as mais diversas peculiaridades dos componentes e gerando a compreensão crítica para que de maneira analítica possa se prever o comportamento de um circuito. Contudo, a carga horária e disposição de

equipamentos em laboratórios presenciais não são suficientes para o aprendizado, levando um número significativo de alunos a realizar diversos experimentos apenas em simuladores, influenciando diretamente na dificuldade de analisar respostas reais e proferir razões as mesmas.

No que diz respeito às respostas reais, um fator de suma importância está relacionado às não idealidades dos circuitos, que são variáveis difíceis de serem modeladas em um simulador, por conta da variação conforme o ambiente de exposição do circuito e dos componentes utilizados. Desse modo, um experimento real pode apresentar diferentes comportamentos por diversos fatores, dentre eles, temperatura, variações na rede de alimentação, interferência eletromagnética, variação nos valores nominais dos componentes, e diversas outras.

Os laboratórios remotos surgiram como uma nova ferramenta para o auxílio no ensino, utilizando a tecnologia da informação a favor da aprendizagem, em que o aluno possui a facilidade de acessar através de dispositivos móveis ou computadores plataformas de experimentação real 24/7, permitindo a compreensão de comportamentos específicos e a análise da problemática envolvida [1] [2].

A aplicação de laboratórios remotos também enfrenta dificuldades, em geral, necessita de um plano bem delineado de aplicação pelo professor e a determinação por parte dos alunos de se disponibilizar a desempenhar experimentos a fim de verificar os ganhos da utilização [3].

O uso de laboratórios remotos em conjunto com os simuladores e laboratórios presenciais demonstra um aumento na percepção por parte dos alunos, o ganho de liberdade por parte do aluno e a possibilidade de realizar experimentos reais por inúmeras vezes, proporciona uma maior capacidade real de resolução de problemas [4].

Na medida em que o usuário entra em contato com um laboratório remoto e cria maturidade na experimentação, tende a notar a aplicabilidade de cada plataforma, e visualizar a importância de cada ferramenta, em geral, verifica com facilidade que os simuladores apresentam alta eficácia com uso dos seus modelos matemáticos como uma ferramenta de validação de cálculos, mas de fato, a incessante prática real é essencial [5].

Diante disso, verificou-se a necessidade de demonstrar as peculiaridades do uso de um laboratório remoto em comparação a um simulador, exaltando as componentes externas que usualmente não se fazem presente nem nos modelos matemáticos mais completos, dando maior clareza

ao uso de laboratórios remotos e de sua facilidade de integração no ensino.

II. VISIR (VIRTUAL INSTRUMENTS SYSTEM IN REALITY)

O laboratório remoto VISIR [6] nasceu de uma proposta de laboratórios remotos no Instituto de Tecnologia de Blekinge na Suécia com intuito de contribuir para o aumento na disponibilidade de experimentos reais aos alunos de forma econômica, e hoje, já está presente na Áustria, Argentina, Brasil, Espanha, Portugal e Suécia através do projeto VISIR+.

O sistema é composto por três componentes principais [7], um computador, uma matriz de comutação de relés e módulos de instrumentos. Por meio dos quais, através de uma URL pública pode-se acessar cada laboratório individualmente, possibilitando a criação, montagem e execução de experimentos, estes que são verificados por meio de um instrutor remoto que analisa a possibilidade de se experimentar o circuito proposto pelo aluno, sugerindo possíveis erros cometidos.

O computador é responsável pela execução do software VISIR, o qual é subdividido em três partes principais, Servidor Web, Operador de Medições e Servidor de Instrumentos. O Servidor Web Apache efetua a comunicação entre o usuário final, o Operador de Medições e o banco de dados. O Operador de Medições verifica a possibilidade da montagem do circuito (instrutor virtual) e efetua a interligação com o Servidor de Instrumentos (LabVIEW) o qual realiza as operações entre componentes e instrumentos através da comutação de relés, realizando as medições especificadas.

O uso do LabVIEW em aplicações deste cunho é muito comum, por conta da fácil integração com diversos hardwares e possibilitando ainda integração de diversas plataformas, caracterizando-o como uma ferramenta adequada e com um bom custo-benefício [8].

A matriz de comutação de relés é formada pelos componentes e interligações para a montagem dos circuitos disponíveis e a conexão com os instrumentos, as interligações entre instrumentos é papel do Operador de Medições que é composto pelos arquivos Maxlist e Component List. Os componentes e conexões utilizadas para criar os circuitos são descritas por arquivos de texto chamados Max Lists, os componentes e as interligações disponíveis na matriz são descritas em um arquivo de texto chamado Component List.

O técnico de laboratório é responsável pela criação e atualização destes arquivos conforme as atualizações na matriz, de acordo com demanda de experimentos propostos pelos professores.

Os resultados apresentados neste artigo são provenientes de análises realizadas com o laboratório remoto VISIR localizado no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), pertencente ao Politécnico do Porto, o mesmo está em fase de instalação, para tal, utilizou-se os painéis frontais disponíveis no LabVIEW e um arquivo de acesso a matriz [9] para a montagem e medição do circuito, entretanto, há uma outra unidade em funcionamento desde 2010.

Portanto, a proposta consiste em utilizar o VISIR como um exemplo de laboratório remoto, verificando a capacidade da ferramenta, vantagens e desvantagens educacionais e principalmente evidenciar as diferenças entre laboratórios remotos e simuladores.

III. LABORATÓRIOS REMOTOS E SIMULADORES

A utilização de laboratórios remotos [10] como uma ferramenta adicional de ensino é comparada a utilização de simuladores e a possibilidade de se emular um laboratório real através de um simulador que varia, e.g. valores nominais de componentes, para tal, a abordagem proposta é debater este cenário deixando claro os benefícios da integração das duas plataformas de ensino com os laboratórios tradicionais.

Os simuladores podem obter respostas muito próximas às obtidas analiticamente, por outro lado, um experimento real, apresenta variação em suas repostas por diversos fatores, como externos (temperatura, elétricos, magnéticos e eletromagnéticos), presença de conversores em alta frequência, e fatores intrínsecos a cada circuito e componente eletrônico (não idealidades).

O uso combinado de plataformas de certa forma apresenta bons resultados, seja o uso de simuladores e laboratórios remotos para ensino a distância, ou no caso de simuladores, laboratórios remotos e presenciais há sempre vantagens na inserção da nova plataforma [3].

Existem propostas do uso integrados das três plataformas educacionais em uma mesma base proporcionando uma melhor utilização por parte do estudante e motivando o mesmo ao uso de todas as plataformas [8].

Por outro lado, persiste por parte dos estudantes a dificuldade em verificar e analisar criticamente as diferenças entre simuladores e laboratórios remotos, reduzindo o avanço no uso da plataforma e principalmente seu uso integrado às demais plataformas como uma ferramenta adicional [4].

A análise proposta é composta por dois circuitos sem componentes de armazenamento de energia, apenas cargas resistivas, com o objetivo de confrontar um circuito em corrente contínua com corrente muito baixa e outro com corrente mais elevada operando em alta frequência, verificando as variações apresentadas pelo circuito em corrente contínua por conta da interferência eletromagnética. Os circuitos propostos são apresentados na Figura 1.

O primeiro circuito possui as seguintes especificações: alimentação em tensão contínua de 0,5 V e resistência de carga igual a 3,3 M Ω . O segundo circuito possui as seguintes especificações: alimentação em tensão alternada, onda quadrada de 5 Vpp à 3 MHz e resistência as de carga de 352 Ω .

Os circuitos propostos foram montados em um experimento (com a mesma referência) em dois simuladores diferentes, procurando comparar as respostas obtidas com a resposta obtida no laboratório remoto VISIR no ISEP.

O primeiro simulador é o PSIM© como uma ferramenta puramente analítica e de verificação de cálculos, pelo fato de não comportar medições em acoplamento CA/CC.

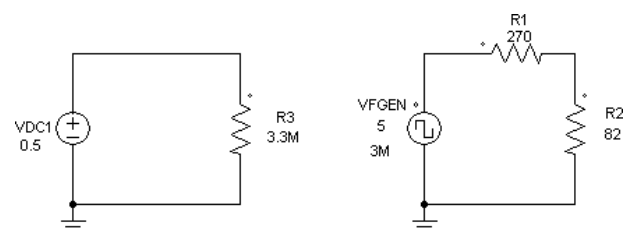


Fig. 1. Circuitos propostos.

Com vistas a se demonstrar a repostas das fontes de alimentação em 0 V e nas tensões nominais de alimentação dos circuitos, para tal, obtiveram-se as formas de onda apresentadas nas Figuras 2 e 3.

O canal 0 (vermelho) apresenta o circuito em alta frequência e o canal 1 (azul) apresenta o circuito em corrente contínua, a análise permite afirmar que as duas fontes não apresentam valores diferentes de zero quando configurados em 0 V, por outro lado, em operação nas tensões nominais, a fonte em alta frequência apresenta estrangulamento na forma de onda, devido ao pequeno intervalo de tempo de subida e descida, e a fonte em corrente contínua não apresenta distorções, um modelo ideal, sem ondulações e ruídos.

O segundo simulador é o Proteus®, que apresenta um osciloscópio permitindo medições em acoplamento CA/CC, um parâmetro de análise de ruídos e ondulações na fonte em corrente contínua. As formas de onda obtidas para fontes em 0 V são apresentadas nas Figuras 4 e 5, e nas tensões nominais são apresentadas nas Figuras 6 e 7.

O canal A (amarelo) apresenta a forma de onda da tensão alternada, o canal B (azul) apresenta a forma de onda da tensão contínua, para o caso da configuração em 0 V novamente não apresentam qualquer resultado, entretanto,

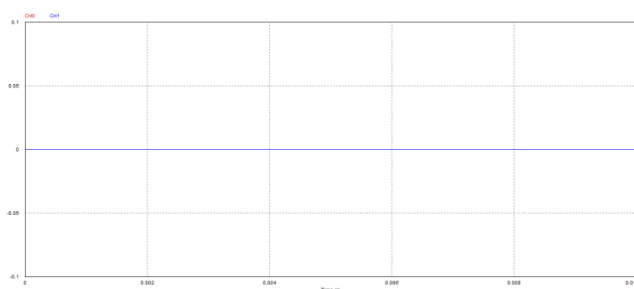


Fig. 2. Formas de onda em 0 v - psim©.

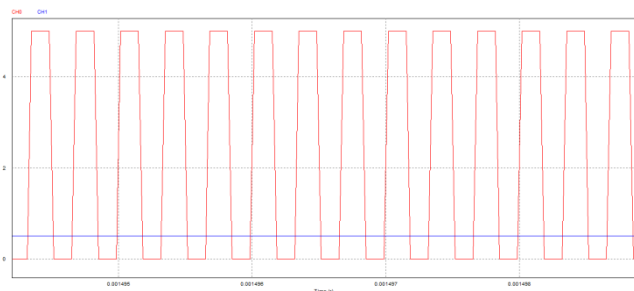


Fig. 3. Formas de onda nas tensões nominais de alimentação - psim©

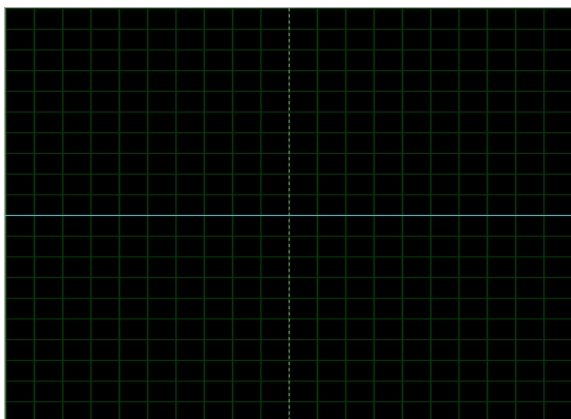


Fig. 4. Formas de onda em 0 v – acoplamento cc - proteus©.



Fig. 5. Formas de onda em 0 V – Acoplamento CA - Proteus©.

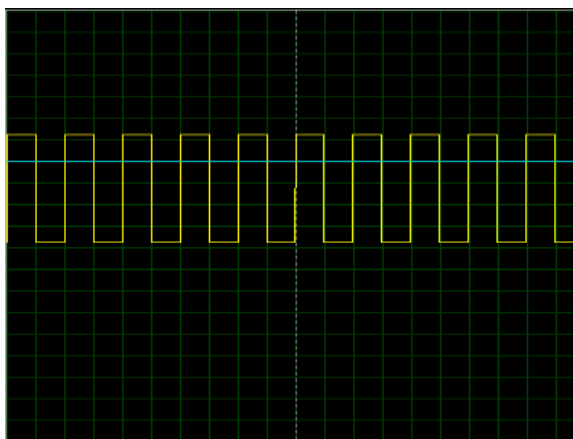


Fig. 6. Formas de onda nas tensões nominais de alimentação- Acoplamento CC - Proteus©.

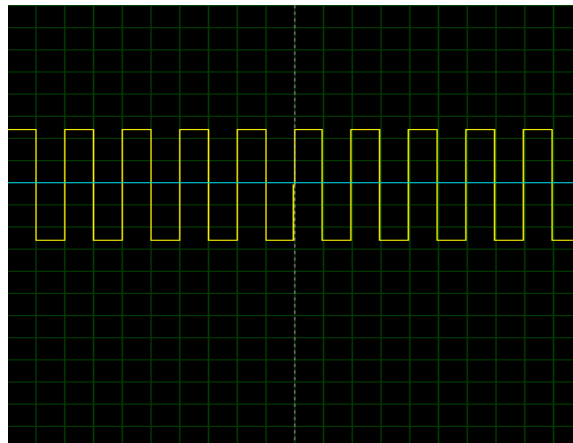


Fig. 7. Formas de onda nas tensões nominais de alimentação- Acoplamento CA - Proteus©.

na tensão de operação as duas fontes apresentam comportamento ideal, sem o estrangulamento devido a alta frequência e sem ruídos ou distorções na fonte de tensão contínua.

Partindo destas medições, antes das medições reais, podem-se apontar aspectos relacionados a não idealidades de fontes e compatibilidade eletromagnética [11]:

- 1) Conversores CA/CC reais não possuem ondulação nula e sempre são afetados por possíveis chaveamentos internos ou externos gerando componentes em alta frequência.

- 2) Componentes fundamentais em alta frequência geram interferência e possíveis ruídos medidos em instrumentos ou equipamentos próximos.
- 3) Alternância de corrente combinada com a indutância de um circuito induz tensões com valores dependentes exclusivamente da variação da corrente no tempo e da indutância do circuito.

Feitas as devidas considerações, pode-se partir para a experimentação real com uso do laboratório VISIR, para tal, montou-se os circuitos na matriz do VISIR, em mesma placa e considerada mesma referência. A Figura 8 apresenta os circuitos montados no laboratório VISIR.

As primeiras medições a serem realizadas dizem respeito à variação dos valores nominais dos componentes usados como cargas, portanto, com uso do multímetro realizou-se a medida das resistências de carga, com os resultados, verificou-se que os limites de fabricação foram respeitados. Os valores obtidos são apresentados nas Figuras 9, 10 e 11.

Com relação a fonte de tensão contínua utilizada, deve-se verificar os ruídos apresentados quando esta é configurada para 0 V. Para tal, realizaram-se medições em acoplamento CA e CC para análise dos valores de pico apresentados. As Figuras 12 e 13 apresentam os valores obtidos.

Visto a não idealidade apresentada pela fonte, pode-se continuar a análise da resposta de fonte contínua ainda sem a presença da fonte de tensão alternada, verificando as características inerentes ao circuito e ao ambiente de exposição do processo de conversão CA/CC para futura comparação.

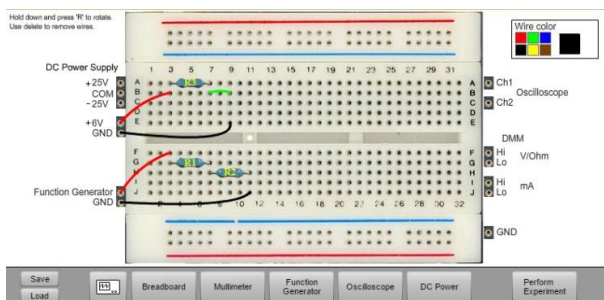


Fig. 8. Circuitos montados no laboratório remoto VISIR [12].

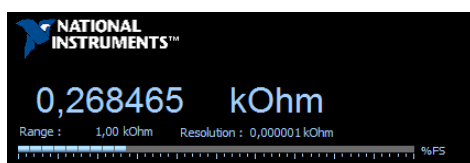


Fig. 9. Medição de resistência – R1.

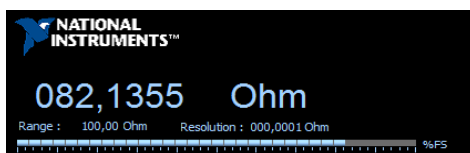


Fig. 10. Medição de resistência – R2.



Fig. 11. Medição de resistência – R3.

A próxima verifica o comportamento da fonte com a imposição de sua tensão total (6 V) realizando a medida das componentes CA/CC, na qual as componentes em frequência possuem pico de 11,8 mV, muito pequena em relação a componente contínua, mas este valor é um parâmetro necessário aos estudos pertinentes. As Figuras 14 e 15 apresentam as medidas realizadas.

Realizou-se a mesma análise para a tensão de operação (0,5 V) verificando-se as medidas em acoplamento CA/CC, obtendo um pico das componentes em frequência de 10,7 mV bem mais significativa em relação a componente contínua, porém, este é o marco da contribuição já presente, sem o segundo circuito ativo. As Figuras 16 e 17 apresentam as medidas realizadas.

Com os parâmetros iniciais definidos, os circuitos foram colocados em operação realizando-se a análise comparativa dos efeitos com a presença do circuito em alta frequência, de modo que, obtiveram-se componentes em frequência maiores na fonte CC, com picos de 205,04 mV aplicando-se 500 mV. As Figuras 18 e 19 apresentam as medidas realizadas.

Verificados os picos relevantes, realizaram-se as medidas de corrente com e sem a presença do segundo circuito, como o esperado o valor aumentou cerca de oito vezes com a presença do circuito em alta frequência, induzindo tensões

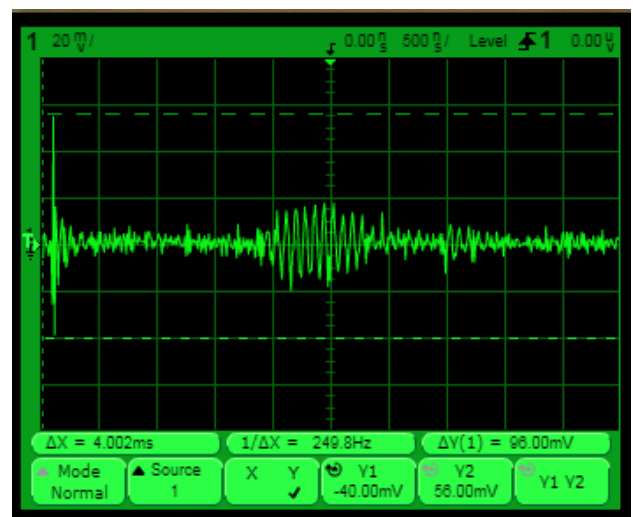


Fig. 12. Fonte CC em 0 V – Acoplamento CA – Pico: 96 mV.

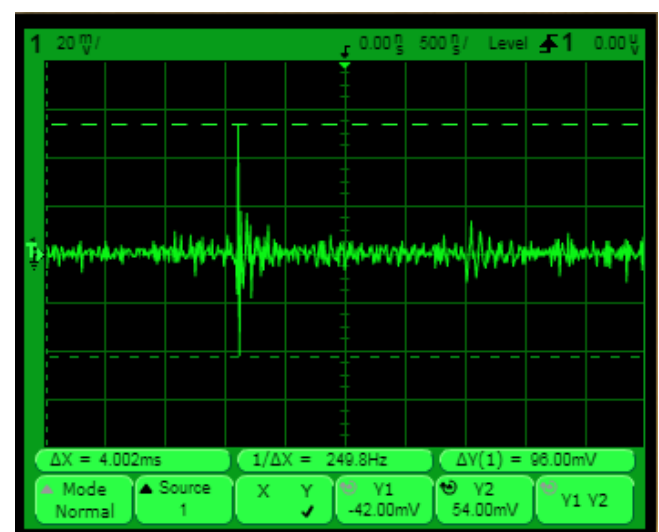


Fig. 13. Fonte CC em 0 V – Acoplamento CC – Pico: 96 mV.

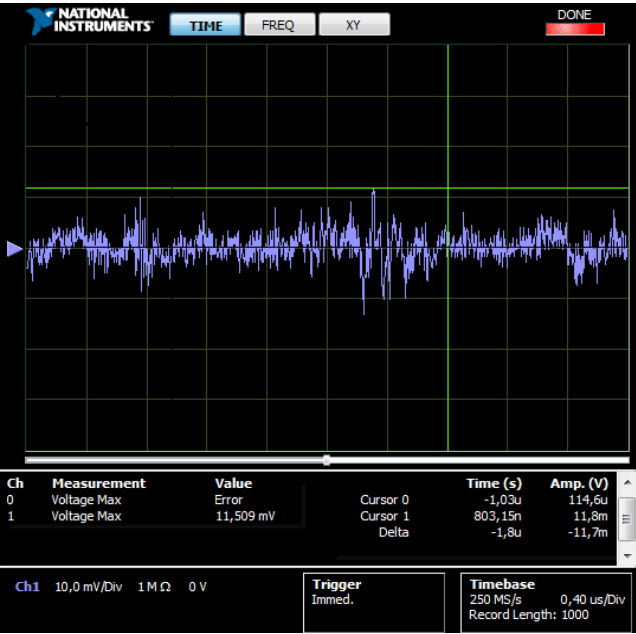


Fig. 14. Fonte CC em 6 V – Acoplamento CA – Pico: 11,8 mV.

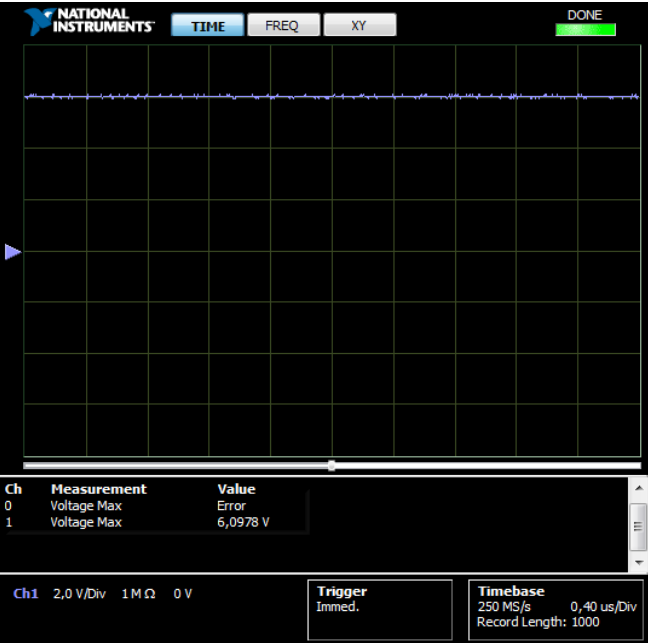


Fig. 15. Fonte CC em 6 V – Acoplamento CC – Pico: 6,0978 V.

nas mais variadas frequências e potencializando efeitos inerentes ao circuito de conversão e ao ambiente de exposição. As Figuras 20 e 21 apresentam os valores de corrente medidos para o circuito CC.

De acordo com o esperado, a presença do segundo circuito apresentou uma grande diferença em relação aos resultados do primeiro isolado, visto que o primeiro de maneira isolada não apresentou grande diferença com a variação da tensão.

O equipamento mesmo configurado em 0 V apresentou componentes em frequência, algo não visto nos modelos ideais de fontes de alimentação, salientando as diferenças de um processo real.

O mais interessante é poder verificar com estes simples circuitos as singularidades presentes em um ambiente real que em geral não fazem parte das variáveis de simulação, salientando o fato de que nem o modelo mais fiel pode ser comparado à realidade. A análise realizada não consiste em

determinar e mensurar os responsáveis, mas demonstrar que análises pequenas e simples podem apresentar uma ótima visão daquilo que se chama análise de circuitos, do ponto de vista real.

IV. CONCLUSÃO

O objetivo de um estudo é sempre aumentar o nível de conhecimento e por consequência a melhoria na resolução de problemas [11]. Para a execução desse artigo estudou-se e compararam-se os simuladores, laboratórios remotos e laboratórios presenciais em combinação com os cálculos teóricos que culminam na evolução da aprendizagem.

Os circuitos analisados são exemplos de resultados únicos e obtidos em um experimento real com influências externas, visto que, profissionais se deparam com problemas reais a todo instante, a formação que apresenta ênfase em experimentação real influencia diretamente no tempo de



Fig. 16. Fonte CC em 6 V – Acoplamento CA – Pico: 10,7 mV.

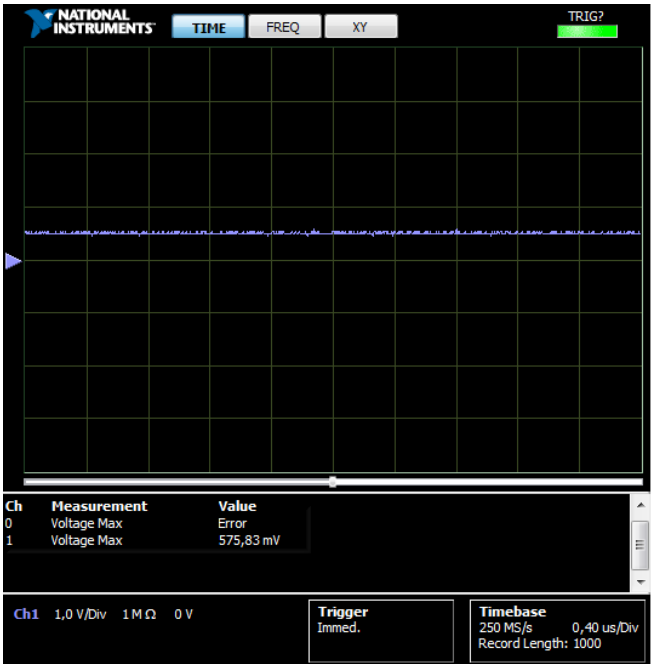


Fig. 17. Fonte CC em 0,5 V – Acoplamento CC – Pico: 575,83 mV.

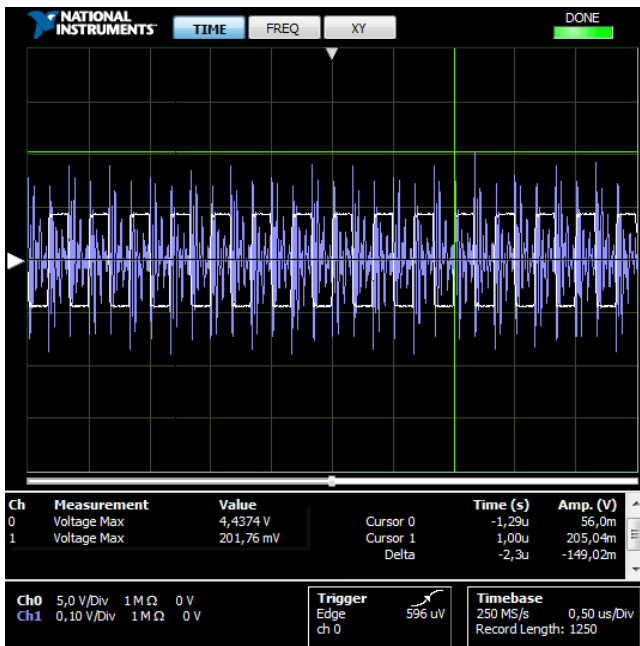


Fig. 18. Fonte CC em 0,5 V – Acoplamento CA – Pico: 205,04 mV

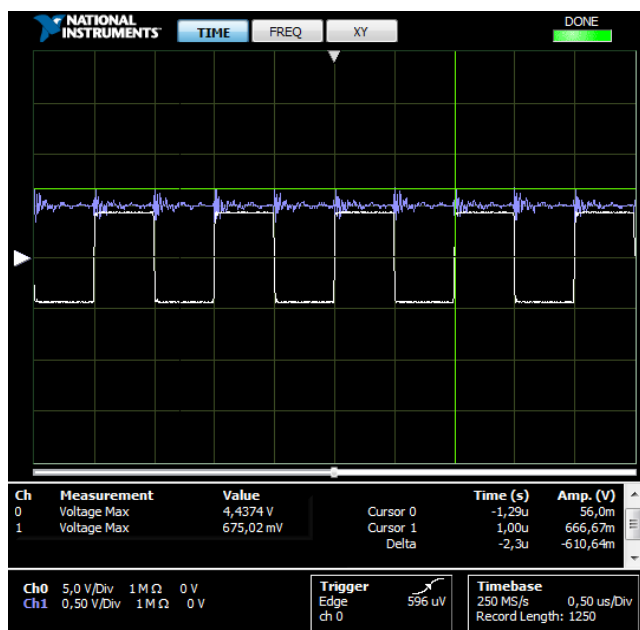


Fig. 19. Fonte CC em 0,5 V – Acoplamento CC – Pico: 675,02 mV.



Fig. 20. Fonte CC em 0,5 V – Corrente sem a presença do segundo circuito.

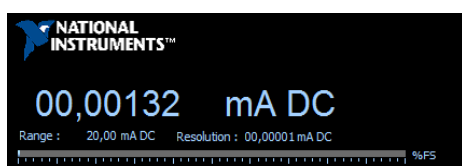


Fig. 21. Fonte CC em 0,5 V – Corrente com a presença do segundo circuito.

resposta do profissional e da explicação necessária para o fenômeno.

Os estudos teóricos são essenciais, mas de nada adianta se não estiverem ligados a prática real. Experiência com uso de simuladores é muito válida, permite inserir e retirar variáveis, simular situações perigosas sem causar danos a equipamentos, mas é indiscutível a importância do experimento real.

A experimentação real permite ao aluno a compreensão de pequenos passos, de certo modo intuitivos, que podem gerar resultados diferentes, proporcionando uma maior compreensão de fenômenos muitas vezes não abordados em aula, e posteriormente realizando sua modelagem em um simulador.

Em geral, professores explicam a teoria de circuitos em corrente contínua nas fases iniciais de cursos relacionados à área, e mesmo que seja dito sobre a susceptibilidade a ruídos destes em proximidade a outros em alta frequência, a oportunidade de verificar, medir e analisar a forma de onda é única.

A realidade de laboratórios remotos tem sido o grande alvo de dúvidas e críticas a sua utilização, mas com uma pequena demonstração como esta, pode-se afirmar que peculiaridades não são triviais de serem modeladas analiticamente, tornando o simulador caro e computacionalmente pesado, permitindo a exclusão da possibilidade de um simulador com esse nível de complexidade.

Portanto, pode-se afirmar que este tipo de tecnologia apresenta-se como uma nova ferramenta de ensino com intuito de se somar as existentes, proporcionando maior diversificação e acesso a experimentos reais mesmo nos casos onde há pouco ou nenhum acesso a laboratórios manuais, visto que estudiosos como Aurel Gontean afirmam que no campo da aprendizagem é crescente o anseio de alunos por experimentos reais, deixando-os aptos e habituados a situações reais e suas variadas respostas [10].

“An experiment is a question which Science poses to Nature and a measurement is a recording of Nature’s answer.” (PLANCK, 1968).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), pelo apoio concedido por meio do programa de mobilidade PROPICIE 11, e ao Politécnico do Porto (P.Porto), em especial ao Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), pelos meios concedidos para a realização deste trabalho. Os autores gostariam de agradecer o apoio financeiro da Fundação de Ciência e Tecnologia, FCT, UID/EQU/00305/2013. Agradecemos ainda o apoio concedido pela Comissão Europeia através do programa Erasmus+, contrato 5617-EPP-1-2015-1-PT-EPPKA2-CBHE-JP. Visto que esta publicação reflete a visão dos autores, a Comissão Europeia não pode ser responsabilizada por qualquer informação nela contida.

REFERÊNCIAS

- [1] Using Remote Labs in Education: Two Little Ducks in Remote Experimentation. Editors: Javier Garcia- Zubia (Universidad de Deusto) and Gustavo R. Alves (Polytechnic of Porto). Universidad de Deusto, Bilbao, 2011. 22 chapters. 465 pp. ISBN 978-84-9830-335-3.
- [2] Oriel A. Herrera, Gustavo R. Alves, David Fuller, Roberto G. Aldunate, “Remote Lab Experiments: Opening Possibilities for Distance Learning in Engineering Fields”, Proceedings of the Education for the 21st century - impact of ICT and Digital Resources

- Conference, 19th IFIP World Computer Congress 2006 (WCC'06), Joe Turner, Deepak Kumar. (Eds.), Santiago, Chile, Agosto 2006 pp. 321-325, Springer Boston, ISSN 1571-5736 (Print) 1861-2288 (Online), ISBN 978-0-387-34627-4.
- [3] Natércia Lima, Clara Viegas, Gustavo R. Alves, e Francisco José García-Peñalvo, Capítulo 14. "A utilização do VISIR como um recurso educativo: uma revisão da literatura". In TICA1 (2016) TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. Manuel G. Gericota y Juan Manuel Santos Gago (Eds). IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español y Portugués. 2016. pp. 105-114. ISBN 978-84-8158-732-6.
- [4] Natércia Lima, Clara Viegas, Marcelo Zannin, Maria Arcelina Marques, Gustavo R. Alves, Susana Marchisio, Federico Lerro, Claudio Merendino, Manuel Felgueiras, Ricardo Costa, André Fidalgo, Juarez Silva, María Isabel Pozzo, Elsa Dobbioletta, Ingvar Gustavsson and Francisco José García Peñalvo; "Do Students Really Understand the Difference Between Simulation and Remote Labs?", 5th Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'17), Cádiz, Spain, October 18-20, 2017.
- [5] C. Viegas. N. Lima. G. Alves. I. Gustavsson. (2017, 20 de Junho). Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/270281930>.
- [6] VISIR+ Project. (2017, 2 de Julho). Disponível em: <http://www2.isep.ipp.pt/visir/>.
- [7] M. Tawfik. (2017, 27 de Junho). Disponível em: <https://pt.slideshare.net/MTawfik86/visir-installation-startup-guide-v1>.
- [8] M. Abdulwahed. Z. K. Nagy. *Developing the TriLab, a Triple Access Mode (Hands-On, Virtual, Remote) Laboratory, of a Process Control Rig Using LabVIEW and Joomla*. Loughborough University. Reino Unido. 2010.
- [9] K. Oosterhof. *Report B1: Mid-term internship report for the third year bachelor Electrical and Electronics Engineering*. ISEP, IPP. Porto. 2016.
- [10] L. Feisel. (2017, 1 de Julho). Disponível em: <https://www.researchgate.net/project/Ruminations-on-on-line-laboratories>.
- [11] J. Pomilio. S. M. Deckmann. (2017, 30 de Junho). Disponível em: <http://www.dscee.fee.unicamp.br/~antenor/it012.html>.
- [12] O. L. E. Laboratory. (2017, 25 de Junho). Disponível em: <http://physicslabfarm.isep.ipp.pt/>.



Matheus V. Branco was born in Lages, Brazil, on March 31, 1997. He is electrical engineering student at Federal Institute of Education, Science and Technology of Santa Catarina (IFSC).

He is intern at Cotesa in Florianópolis, Brazil, the main activity is the maintenance management of projects electrical energy generation and transmission. He is interested in power systems and education platforms in special remote laboratories by the experience

like intern at ISEP in 2017 on VISIR+ Project.



Leticia A. Coelho was born in Santo Amaro da Imperatriz, Brazil, on March 20, 1994.

She is telecommunications engineering student at Federal Institute of Education, Science and Technology of Santa Catarina (IFSC). She is intern at SOMA in São José, Brazil, the main activity is the software development for automation in industry and education. She is interested in innovative technologies into automation applications in special remote laboratories by the experience

like intern at ISEP in 2017 on VISIR Project.



Gustavo R. Alves (M'14-SM'16) was born in Porto, Portugal, on April 11, 1968. He received the M.Sc. and Ph.D. degrees in electrical and computer engineering from the University of Porto, Portugal, in 1995 and 1999, respectively.

He has been an Adjunct Professor with the Department of Electrical Engineering, School of Engineering, Polytechnic of Porto, since 1994. He is responsible for the Research Group in Systems Testing, part of the Center for Innovation in Engineering and Industrial Technology. He has published over 200 articles in journals and international conferences with peer review. He authored 11 book chapters, and co-edited a book in the area of remote labs in 2011. His areas of interest include teaching in engineering, remote experimentation, and electronic systems debug and test.

Dr. Alves is a member of the International Association for Online Engineering (IAOE), the Global Online Laboratory Consortium (GOLC), the International Society for Engineering Education (IGIP), the Association for Computing Machinery (ACM), the Portuguese Society for Engineering Education (SPEE), and the Order of Engineers (OE) in Portugal. He currently serves as an Associated Editor for the IEEE Transactions on Learning Technologies.

Página en Blanco

Página en Blanco

Financiado por el Capítulo Español de la Sociedad de Educación del IEEE



IEEE

**Capítulos Español y Português
de la Sociedad de Educación**

Universida_{de}Vigo