

VNIVERSITAT DE VALÈNCIA

Citation for the original published paper:

Botella-Mascarell, C., Soriano-Asensi, A., Segura-Garcia, J., Perez, J., Felici-Castell, S., Navarro-Camba, E., Garcia-Pineda, M. and Montagud, M. "Evaluación del impacto del uso de dispositivos de radio definida por software como herramienta docente en la materia de comunicaciones digitales." 2020 XXXV Symposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio (URSI 2020), Málaga(Spain). September 2020 pp. 1-4,

This is an author's version under creative common license CC-BY-NC-ND 4.0

Evaluación del impacto del uso de dispositivos de radio definida por software como herramienta docente en la materia de comunicaciones digitales

Carmen Botella-Mascarell⁽¹⁾, Antonio Soriano-Asensi⁽¹⁾, Jaume Segura-Garcia⁽¹⁾, Joaquin Perez⁽²⁾, Santiago Felici-Castell⁽¹⁾, Enrique Navarro-Camba⁽¹⁾, Miguel García-Pineda⁽¹⁾, Mario Montagud⁽¹⁾
{carmen.botella,antonio.soriano-asensi,jaume.segura,joaquin.perez-soler}@uv.es
{santiago.felici,enrique.navarro,miguel.garcia-pineda,mario.montagud}@uv.es

⁽¹⁾Departament d'Informàtica, Universitat de València, Av. de la Universitat s/n, 46100 Burjassot, Spain.

⁽²⁾Departament d'Enginyeria Electrònica, Universitat de València, Av. de la Universitat s/n, 46100 Burjassot, Spain.

Resumen—Educational innovation is a process that extends beyond an academic year. In its development, the stages of planning, implementation, evaluation and feedback are distinguished in order to identify aspects that could be improved. In this contribution, we present a procedure for evaluating the impact of the use of software-defined radio devices in digital communications laboratories. This procedure evaluates the students' engagement, following more realistic laboratory sessions that are closer to current communications systems and far from standard simulation practices. The engagement of the students is quantified, comparing the results of an experimental group with two control groups that have continued with the standard simulated sessions. The results indicate that the impact has been positive on the students' ability to face new challenges and on their perception of the relevance of the activities they carry out, although this improvement is not reflected in their ability to focus on them.

I. INTRODUCCIÓN

La radio definida por *software* (SDR, a partir de sus siglas en inglés, *software-defined radio*) ha sido definida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) como “un transmisor y/o receptor de radio que emplea una tecnología que permite que los parámetros de radio frecuencia, incluyendo, pero no limitado a, rango de frecuencias, tipo de modulación, o potencia de salida, se ajusten o modifiquen mediante *software*, excluyendo los cambios en los parámetros de funcionamiento que se producen durante el funcionamiento normal preinstalado y predeterminado de una radio según una especificación de sistema o norma”¹. Este paradigma, aunque surgió como necesidad de virtualizar y digitalizar las redes de telecomunicaciones, se ha convertido veinte años después en un recurso educativo viable en asignaturas pertenecientes a la materia de comunicaciones digitales en los grados universitarios [1].

Tradicionalmente, las asignaturas pertenecientes a esta materia incluyen sesiones de laboratorio donde el estudiantado puede analizar el funcionamiento de los distintos bloques de un sistema de comunicaciones mediante simulaciones basadas en MATLAB, Python o C. Esta opción presenta inconvenientes como la simplificación de los aspectos prácticos de los sistemas (inherentes a las imperfecciones del canal o a aspectos de sincronismo, por ejemplo). Sin embargo, la realimentación dada por los futuros empleadores, así como

los requisitos de los sistemas de acreditación de la calidad de las titulaciones actuales relacionadas con la Ingeniería, recomiendan implementar iniciativas que permitan disminuir la brecha entre el conocimiento teórico y el desarrollo de proyectos de tipo práctico. Es aquí donde toma relevancia el uso de dispositivos SDR, ya que permiten implementar muchos componentes de los sistemas de comunicaciones utilizando programas informáticos que, además, pueden ser reconfigurados en tiempo real [1]–[3].

Esta contribución se centra en el aspecto de la evaluación del impacto del uso de dispositivos SDR en los laboratorios de la asignatura Teoría de la Comunicación de la materia de Comunicaciones Digitales, Grado en Ingeniería Telemática de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de la Universidad de Valencia. El trabajo previo presentado en las contribuciones [4], [5] se centró en la introducción del uso de distintos dispositivos SDR, como Universal Software Radio Peripherals (USRPs), HackRF One de Great Scott Gadgets² o el RTL-SDR³, en distintas asignaturas de la materia, con resultados positivos en cuanto a fomentar la participación del alumnado. Sin embargo, la evaluación de la innovación se realizó mediante cuestionarios a los estudiantes participantes (grupos reducidos o voluntarios), por lo que no puede considerarse una evaluación sistemática, observando la presencia de factores externos que podían estar influyendo en los resultados obtenidos (por ejemplo, los resultados fueron consistentemente peores en los grupos de laboratorio que estaban al máximo de capacidad). Además, la evaluación de las acciones de innovación docente tiene un coste temporal alto, puesto que los factores externos cambian entre cursos académicos y complican la obtención de resultados objetivos de forma longitudinal. Por estos motivos, la evaluación se ha realizado en este caso definiendo un grupo experimental, que trabaja con SDR, y dos grupos de control que han continuado con las sesiones simuladas estándar. Para evaluar la actitud de los estudiantes en el aula se ha utilizado un cuestionario basado en [6], que analiza el grado de implicación de los estudiantes a partir de tres factores. El análisis de los resultados indica que el impacto del uso de los dispositivos SDR es positivo en al menos dos de estas dimensiones.

²<https://greatscottgadgets.com/hackrf/>

³<https://https://www.rtl-sdr.com/>

¹<https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2152-2009>

II. OBJETIVOS

El trabajo con dispositivos SDR requiere el uso de conocimientos asociados a disciplinas como electromagnetismo, radio frecuencia, comunicaciones, procesado digital de la señal, sistemas embebidos, programación e ingeniería de sistemas, etc., por lo que se convierten en herramientas que permiten construir conocimiento transversal, apoyado además en el aprendizaje entre pares [5]. Tal y como plantea [7], la enseñanza de estas materias se suele impartir tradicionalmente tanto desde departamentos de ingeniería de telecomunicaciones como desde departamentos de ingeniería informática, de manera que los conceptos se suelen dividir según la tradición de estos departamentos. De esta forma, la mayoría de estudiantes de telecomunicaciones no suelen aprender arquitecturas *software*, y la mayoría de estudiantes de informática no suelen aprender procesado digital de la señal o sistemas de radio frecuencia. Además, el profesorado implicado se aproxima al SDR considerando que son sistemas de radio frecuencia reconfigurables, o dispositivos que permiten abordar aspectos de procesado de señal, o bien, que posibilitan el desarrollo de programas de *software* específico, cuando en la práctica, se engloban todas las vertientes mencionadas [7].

Los objetivos del trabajo aquí presentado son los siguientes:

- mejorar la motivación e implicación del alumnado (medir la mejora en la implicación del alumnado, de forma que perciban una mayor relevancia de las actividades que realizan en el laboratorio);
- mejorar la energía del alumnado (afecta a la asistencia y a la actitud de los estudiantes en las sesiones de laboratorio);
- desarrollar un proyecto transversal a distintas asignaturas de la materia, cumpliendo con las indicaciones recogidas en sellos de calidad como EUR-ACE.

III. SESIONES DE LABORATORIO

La asignatura Teoría de la Comunicación se imparte en el primer cuatrimestre de tercer curso del Grado en Ingeniería Telemática. El temario de la asignatura comprende los temas de codificación de fuente (fuentes discretas y continuas), modulaciones digitales, capacidad de canal y codificación de canal. La tabla I resume la estructura de las sesiones realizadas por los grupos de control y las sesiones alternativas sobre SDR realizadas por el grupo experimental. Las sesiones realizadas por los grupos de control mantienen los guiones propuestos en el curso académico anterior, salvo modificaciones simples para mejorar su desarrollo. Como se observa en la tabla, las cuatro primeras sesiones son comunes a todos los grupos de estudiantes, que desarrollan los guiones propuestos mediante programación en el entorno MATLAB. En la práctica 5, el grupo experimental utiliza los dispositivos RTL-SDR como receptores, configurando el profesorado un USRP común como transmisor. Los bloques de recepción a evaluar (como el pulso de coseno alzado, que se compara con otras opciones de peores prestaciones) se construyen en el entorno Simulink de MATLAB. Se presta especial atención a ajustar en un primer paso el sincronismo de los RTL-SDR con una portadora emitida por la USRP transmisora. En la última sesión del grupo experimental se utiliza el entorno GNU Radio, construyendo el esquemático mostrado en la Fig. 1

TABLA I
SESIONES DE LABORATORIO. (*) ALTERNATIVA SDR

Sesión / Duración / Contenido

1 / 2.5 horas / Probabilidad y entropía
2 / 2.5 horas / Algoritmo de Huffman
3 / 2.5 horas / Codificación aritmética
4 / 2.5 horas / Cuantificación
5 / 2.5 horas / BPSK con pulso de coseno alzado. Probabilidad de error
6 / 5 horas / Código de repetición
Sesión* / Duración* / Contenido*
5* / 5 horas / QPSK con pulso de coseno alzado. Probabilidad de error (RTL-SDR, USRP, Simulink)
6* / 2.5 horas / Código bloque (GNU Radio)

para evaluar las prestaciones de un código bloque variando parámetros como la modulación (BPSK, QPSK) y el ruido presente en el sistema.

En el curso académico 2019-2020 la asignatura ha contado con 39 estudiantes matriculados, que se reparten en 3 grupos de laboratorio: AL1 (13 estudiantes), AL2 (16 estudiantes) y AL3 (10 estudiantes). El número final de estudiantes que realizó presencialmente los laboratorios fue: AL1 (9 estudiantes), AL2 (14 estudiantes) y AL3 (6 estudiantes). A partir de estos datos, se decide que el grupo AL2 sea el grupo experimental que realizará las prácticas alternativas basadas en SDR, mientras que los grupos AL1 y AL3 serán los grupos de control, de manera que el número de estudiantes agregado sea similar en ambos casos. Además, los grupos AL2 y AL3 realizan las prácticas en paralelo el mismo día de la semana y a la misma hora, mientras que el grupo AL1 las realiza otro día pero en la misma franja horaria. Puesto que los grupos no se han elegido al azar, el diseño de esta innovación sería de tipo quasi-experimental. Con esta organización, se intentan evitar aspectos que puedan influir en la evaluación de la innovación como es el tener grupos muy numerosos de laboratorio o la realización de las prácticas en franjas distintas. Nótese que los estudiantes trabajan en grupos de dos en las sesiones de laboratorio.

IV. EVALUACIÓN

Las sesiones de laboratorio de la asignatura son un ítem de evaluación continua, cuya nota representa un 15 % de la nota final de la asignatura en ambas convocatorias. La evaluación de cada sesión de laboratorio se realizó de la misma forma tanto en los grupos de control como en el experimental: se evaluaron las memorias entregadas por cada grupo de trabajo de laboratorio una semana después de la realización de la sesión. Puesto que las prácticas basadas en SDR se tenían que realizar exclusivamente en las horas de laboratorio al tener que acceder a dispositivos *hardware*, el profesorado tuvo en cuenta que algunos grupos de trabajo pudieron experimentar problemas que les impidieran finalizar todos los apartados de la práctica. Por ejemplo, un paso crítico que ralentizó las prácticas fue la sincronización de los dispositivos RTL-SDR. La evaluación de la acción de innovación se ha programado en dos instantes temporales: al

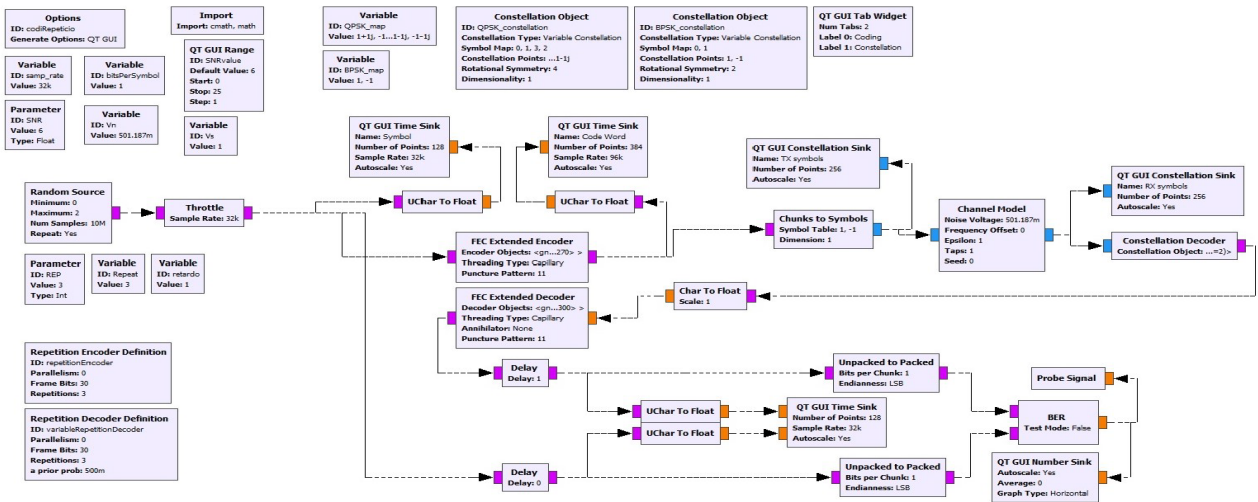


Fig. 1. Esquemático de la práctica 6 (GNU Radio).

inicio de la primera sesión de laboratorio (tercera semana del cuatrimestre), y al inicio de la última sesión de laboratorio (última semana del cuatrimestre). Hay que destacar que el alumnado ya ha trabajado con anterioridad en asignaturas de la materia con la metodología de sesiones simuladas en MATLAB, por lo que puede contestar adecuadamente a algunas preguntas del cuestionario realizado ya en la primera sesión de laboratorio. Para evaluar el impacto del uso de los dispositivos SDR se ha adaptado un cuestionario que evalúa el compromiso en el trabajo [6]. El estudiantado valoró 10 preguntas utilizando una escala Likert entre 1 (nunca/casi nunca) y 5 (casi siempre/siempre):

- Q1 - En el laboratorio me siento lleno/llena de energía;
- Q2 - Pienso que las prácticas son relevantes y significativas;
- Q3 - El tiempo me parece que “vuela” mientras realizo las prácticas;
- Q4 - Me siento con gran fuerza y vigor durante las prácticas;
- Q5 - Me entusiasman las prácticas que se nos proponen;
- Q6 - Mientras realizo las prácticas me olvido de todas las cosas que pasan a mi alrededor;
- Q7 - El trabajo en el laboratorio me resulta ilusionante;
- Q8 - Tengo ganas de ir a clase cuando llego a la Universidad;
- Q9 - Me satisface trabajar con intensidad en el laboratorio;
- Q10 - En general, me siento muy satisfecho/a con las actividades que se nos proponen en el laboratorio.

La pregunta Q10 está relacionada con la satisfacción general del estudiantado. El resto de preguntas evalúan tres aspectos indicativos de la implicación académica: **energía**, relacionada con la capacidad de resiliencia del estudiantado frente a la resolución de problemas (Q1, Q4, Q8); **absorción**, relacionada con la capacidad del estudiantado para concentrarse en aquellas tareas que está realizando (Q3, Q6, Q9); y **dedicación**, relacionada con la percepción del estudiantado sobre la relevancia de las actividades que realiza (Q2, Q5,

Q7).

La tabla II refleja las puntuaciones promedio, junto a la desviación estándar (entre paréntesis), obtenidas en las respuestas de cada pregunta, en el muestreo previo y el muestreo posterior, así como la diferencia obtenida entre ambos instantes temporales. Los resultados obtenidos por el grupo experimental AL2 se representan en las filas indicadas con (*). Tal y como muestra la tabla, la diferencia obtenida en los grupos de control AL1 y AL3 es positiva en todas las preguntas, a excepción de la pregunta Q4. Si observamos por otro lado el caso del grupo experimental AL2, la diferencia obtenida es positiva, a excepción de las preguntas Q3 y Q6. En el caso de la pregunta Q3, el descenso es poco importante. El resultado obtenido en la pregunta Q10 (satisfacción general) es similar tanto en el grupo experimental como en los grupos de control. Comparando el grupo experimental con los grupos de control, es importante destacar (además de ser coherente con el objetivo del trabajo) que, en el caso del grupo experimental, el mayor incremento positivo se da en la pregunta Q7, mientras que en el caso de los de control, se obtiene en la pregunta Q6.

La tabla III muestra los resultados obtenidos cuando se agregan las respuestas a las preguntas según su categoría (energía, absorción y dedicación). Se puede observar cómo la realización de las prácticas basadas en SDR ha conseguido aumentar positivamente la diferencia (por encima de los resultados obtenidos en los grupos de control) en los aspectos de energía y dedicación, mientras que ha disminuido ligeramente el aspecto de absorción. Teniendo en cuenta los resultados de la tabla II, el descenso en la absorción viene dominado en el grupo experimental por la pregunta Q6. En este punto, es importante destacar que uno de los inconvenientes percibidos por el estudiantado en esta metodología es la dependencia de un dispositivo *hardware*, lo que implica la posibilidad de que surjan imprevistos que dificulten la realización de la práctica de forma satisfactoria (por ejemplo, mala recepción de la señal debido a la antena receptora, o la necesidad de configurar adecuadamente el programa con los paquetes de soporte para

TABLA II
VARIACIÓN DE LOS VALORES PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR (ENTRE PARÉNTESIS) OBTENIDOS EN CADA UNA DE LAS PREGUNTAS DEL CUESTIONARIO. (*) RESULTADOS DEL GRUPO EXPERIMENTAL AL2.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Previo	2.93 (1.22)	3.80 (0.86)	3.13 (0.99)	3.00 (0.93)	2.67 (0.98)
Posterior	3.25 (0.75)	4.00 (0.85)	3.17 (0.83)	2.42 (0.67)	2.92 (0.67)
Diferencia	0.32	0.20	0.03	-0.58	0.25
Previo*	3.14 (0.66)	3.64 (0.84)	3.43 (1.02)	2.93 (0.73)	2.86 (0.86)
Posterior*	3.21 (0.7)	4.00 (0.88)	3.36 (0.84)	3.36 (0.63)	3.21 (0.70)
Diferencia*	0.07	0.36	-0.07	0.43	0.36
	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Previo	2.93 (0.8)	2.87 (0.64)	3.27 (1.1)	3.67 (0.62)	3.13 (0.92)
Posterior	3.67 (1.15)	3.08 (0.67)	3.75 (0.75)	3.83 (0.83)	3.75 (0.97)
Diferencia	0.73	0.22	0.48	0.17	0.62
Previo*	2.79 (0.97)	2.64 (0.84)	2.50 (1.29)	3.36 (1.08)	3.29 (1.07)
Posterior*	2.36 (0.93)	3.50 (0.85)	2.79 (0.70)	3.43 (0.85)	3.79 (1.05)
Diferencia*	-0.43	0.86	0.29	0.07	0.50

TABLA III
VARIACIÓN DE LOS VALORES PROMEDIO DE ENERGÍA, ABSORCIÓN Y DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO. (*) RESULTADOS DEL GRUPO EXPERIMENTAL AL2.

	Energía	Absorción	Dedicación
Previo	3.07/2.86*	3.24/3.19*	3.11/3.05*
Posterior	3.14/3.12*	3.56/3.05*	3.33/3.57*
Diferencia	0.07/0.26*	0.31/-0.14*	0.22/0.52*

el *hardware*). Esta percepción es la que probablemente influya en los resultados obtenidos en la pregunta Q6, puesto que en este tipo de prácticas los distintos grupos de trabajo deben avanzar de forma simultánea a través de la práctica al depender, en algunos pasos, de señales transmisoras emitidas por el profesorado. La nota media obtenida en las sesiones de laboratorio fueron un 7.84 en el caso de los grupos de control, y un 7.56 en el caso del grupo experimental. Si nos centramos en las sesiones que difirieron entre ambos grupos, los grupos de control y experimental obtuvieron una calificación promedio de 7.98 y 7.95, respectivamente. Como puede observarse, las diferencias no son determinantes.

Desde el punto de vista del profesorado, este tipo de iniciativas conlleva un alto coste temporal de preparación de los laboratorios, así como la necesidad de preparar trabajos alternativos para los estudiantes que no pueden asistir a la clase de forma presencial. Además, se hace necesario llevar un seguimiento de los posibles problemas experimentados por cada grupo de trabajo de cara a no penalizar la nota obtenida por esos grupos. Nótese que los resultados aquí presentados forman parte de un proyecto que incluye la toma de muestras en varias asignaturas de la materia de Comunicaciones Digitales, lo que permitirá en el futuro aumentar el tamaño de la muestra, posibilitando el análisis de si la acción es estadísticamente significativa.

V. CONCLUSIONES

Los dispositivos de radio definida por *software* son un recurso muy versátil para trabajar la materia de comunica-

ciones digitales. Teniendo en cuenta la necesidad de medir de forma objetiva la efectividad de su uso, en este trabajo se presenta un procedimiento para evaluar el impacto de su utilización en una asignatura de la materia de comunicaciones digitales. Los resultados obtenidos indican que el efecto ha sido positivo en cuanto a energía, dedicación y satisfacción general del alumnado. Como extensión de este trabajo, se plantea la recogida de datos subjetivos como es la opinión del profesorado implicado en el proceso.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el “Vicerectorat d’Ocupació i Programes Formatius” de la Universitat de València a través del proyecto UV-SFPIE_PID19-1097673.

REFERENCIAS

- [1] A. Wyglinski, D. Orofino, M. Ettus, and T. Rondeau, “Revolutionizing software defined radio: case studies in hardware, software, and education,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 1, pp. 68–75, Jan. 2016.
- [2] R. Stewart, L. Crockett, D. Atkinson, K. Barlee, D. Crawford, I. Chalmers, M. McLernon, and E. Sozer, “A low-cost desktop software defined radio design environment using MATLAB, simulink, and the RTL-SDR,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, pp. 64–71, Sept. 2015.
- [3] V. Gil Jiménez, A. Lancho Serrano, B. Genovés Guzmán, and A. García Armada, “Learning mobile communications standards through flexible software defined radio base stations,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 5, pp. 116–123, May 2017.
- [4] J. Segura, C. Botella, A. Soriano, and S. Felici, “Innovación en docencia de sistemas de comunicación en el Grado de Ingeniería Telemática de la UVEG,” in *II Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red (INRED)*. July 7–8, Valencia (Spain), 2016.
- [5] A. Soriano-Asensi, J. Segura, C. Botella, J. Pérez, and S. Felici i Castell, “Aprendizaje basado en proyectos en los laboratorios de comunicaciones digitales,” in *V Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red (INRED)*. July 11–12, Valencia (Spain), 2019.
- [6] R. García-Ros, F. Pérez-González, J. M. Tomás, and I. Fernandez, “The schoolwork engagement inventory: factorial structure, measurement invariance by gender and educational level, and convergent validity in secondary education (12-18) years,” *J.Pschoeduc. Assess.*, vol. 36, no. 6, pp. 588–603, Sept. 2018.
- [7] M. Rice and M. McLernon, “Teaching communications with SDRs: making it real for students,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 57, no. 11, pp. 14–19, Nov. 2019.