

VNIVERSITAT DE VALÈNCIA

Citation for the original published paper:

Soriano Asensi, A.; Segura Garcia, J.; Botella Mascarell, C.; Felici-Castell, S.; Pérez, J.; Garcia Pineda, M.; "Evaluación de experiencias de innovación docente en el Grado de Ingeniería Telemática de la Universitat de València", Actas de las XIV Jornadas de Ingeniería Telemática (JITEL 2019), Zaragoza (España), 22-24 de octubre de 2019. ISBN: 978-84-09-21112-8
DOI: <http://dx.doi.org/10.26754/uz.978-84-09-21112-8>

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



Evaluación de experiencias de innovación docente en el Grado de Ingeniería Telemática de la Universitat de València

Antonio Soriano Asensi, Jaume Segura Garcia, Carmen Botella, Santiago Felici-Castell,
Joaquín Pérez y Miguel García Pineda

Departament d'Informàtica, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria
Universitat de València

Avinguda de l'Universitat, s/n, 46100 Burjassot, Valencia.

{antonio.soriano-asensi,jaume.segura,carmen.botella,santiago.felici,joaquin.perez-soler,miguel.garcia-pineda}@uv.es

Resumen—Desde el punto de vista de la investigación estamos acostumbrados a diseñar experimentos, realizar medidas, analizar los resultados y difundirlos al resto de la comunidad científica. Pero en el ámbito docente no es tan frecuente completar todo ese ciclo hasta la difusión de los resultados. El objetivo de esta presentación es dedicar unos minutos a la reflexión, al intercambio de experiencias docentes y a la evaluación de su impacto en el aprendizaje de la Ingeniería Telemática. En el presente trabajo se pretende presentar el planteamiento seguido y los resultados obtenidos, para evaluar el beneficio de introducir nuevas prácticas en el laboratorio de Fundamentos de Sistemas de Comunicaciones del Grado en Ingeniería Telemática de la Universitat de València.

Palabras Clave—Docencia en telemática, Evaluación de experiencias docentes, Radio definida por *software*, GNU Radio

I. INTRODUCCIÓN

En este trabajo, se plantea una reflexión en torno al problema de introducir y evaluar de forma cuantitativa y cualitativa los resultados de un proyecto de innovación docente centrado en la asignatura de Fundamentos de Sistemas de Comunicaciones (FST), del Grado en Ingeniería Telemática (GIT) de la Escuela Tècnica Superior de Ingeniería de la Universitat de València (ETSE-UV). El proyecto de innovación docente de donde surge el presente trabajo, se inició en el curso académico 2015-2016 y tiene como propósito la introducción gradual de varias plataformas de Radio Definida por *Software* (SDR) en asignaturas de GIT y el Máster en Ingeniería de Telecomunicación (MITUV). En esta contribución, se explora el uso del dispositivo HackRF One de Great Scott Gadgets¹, junto con una herramienta de software de código abierto como GNU Radio². HackRF One es un periférico

¹<https://greatscottgadgets.com/hackrf/>

²<https://www.gnuradio.org/>

SDR con un rango de frecuencia de 1 MHz a 6 GHz, y puede utilizarse como periférico USB o en modo de operación autónomo. Las referencias [1], [2], [3] analizan los beneficios, retos y casos de uso de las plataformas SDR en la enseñanza de las telecomunicaciones.

Debido a la especificidad y al elevado coste de la instrumentación, es frecuente que se aborde la enseñanza de las asignaturas de telecomunicaciones desde un punto de vista teórico. Estas asignaturas incluyen sesiones de laboratorio donde el alumnado simula partes de los sistemas de comunicaciones utilizando, por ejemplo, Matlab, Python, o C. Esta aproximación presenta dos puntos críticos desde nuestro punto de vista. En primer lugar, obliga a simplificar o idealizar el funcionamiento de los sistemas a evaluar por limitaciones de tiempo de laboratorio, fundamentalmente. En segundo lugar, en el entorno académico actual, es necesario acreditar la calidad de la titulación mediante las certificaciones otorgadas, por ejemplo, por el Consejo de Acreditación de Ingeniería y Tecnología (ABET) o la Red Europea para la Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería (ENAAE). Estos organismos, evalúan los Objetivos Educativos del Programa y los Resultados Estudiantiles, comprendiendo tanto los conocimientos, las habilidades como los comportamientos adquiridos en la titulación. Más aún, se intenta cuantificar la dimensión de “*lo que se espera que los estudiantes sean capaces de hacer*”. De esta forma, aparece la necesidad de acercar la aproximación teórica al entorno profesional, donde un conocimiento más realista de los sistemas de comunicaciones es mucho mejor valorado.

La experiencia aprendida y aquí presentada, tiene como objetivos por un lado introducir una aproximación más aplicada en las asignaturas de comunicaciones. Por otro lado, se pretende la elaboración de material docente mejor adaptado al interés de los estudiantes con el objetivo

de mejorar su implicación en las actividades formativas. Para ello, se propone una metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) para mejorar adquisición de habilidades prácticas relacionadas con las Comunicaciones Digitales y el Procesado de Señales para cursos de Comunicaciones a través de dispositivos SDR de bajo coste, lo que ha demostrado mejorar la participación de estudiantes de máster y grado.

Las estructura del artículo es como sigue. En primer lugar, en la sección II se presenta una breve revisión de algunas plataformas SDR disponibles y de algunos de los proyectos llevados a cabo con las mismas. En la sección III se detalla la experiencia ABP llevada a cabo con los estudiantes de máster, cómo prepararla, qué actividades se han llevado a cabo y cómo ir cediendo el protagonismo a los estudiantes para que completen por sí mismos el trabajo. A partir de la experiencia ABP con los estudiantes de máster, en la sección IV se indica cómo se ha elaborado un material guiado para que los estudiantes de grado lleven a cabo una práctica demostración. En la sección V se detalla la evaluación del impacto de la actividad propuesta en la motivación de los estudiantes de grado en su formación docente. Finalmente en la sección VI se resumen los principales resultados de esta contribución.

II. PLATAFORMAS SDR

Existe una amplia gama de equipos SDR y programas de software para soportar y gestionarlos. Por ejemplo, en [1] y [2] utilizan Universal Software Radio Peripherals (USRP) [4] y el software Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench (LabVIEW), cuya interfaz gráfica facilita su uso. Pero los USRP son dispositivos bastante costosos y se está trabajando en encontrar soluciones de bajo coste. En [3] se desarrolló un curso abierto con dispositivos RTL-SDR, por menos de \$20, donde se usa MATLAB y Simulink para modelar los sistemas de comunicación digital. Otro producto en el mercado es [5], con un coste unitario de alrededor de \$200.

En el GIT, cada asignatura consta normalmente de 4 grupos de laboratorio con 16-20 estudiantes cada uno, lo que representa una media de 40 dispositivos SDR necesarios por curso, teniendo en cuenta que, a veces, dos cursos pueden impartirse en paralelo. En nuestro caso, los dispositivos RTL-SDR inicialmente se han utilizado junto con GNU Radio en cursos introductorios de Comunicaciones Digitales para aumentar la participación de los estudiantes, con un presupuesto asequible [6].

Sin embargo, estos dispositivos (RTL-SDR) plantean algunos problemas de fiabilidad, especialmente cuando se conectan durante períodos prolongados, debido a problemas de disipación de energía. Es por ello que se han adquirido dispositivos HackRF One, con un coste unitario de alrededor de \$300, para complementarlos. Que son los mismos dispositivos que se emplean en otros cursos más avanzados a nivel de máster.

III. APRENDIZAJE DE COMUNICACIONES DIGITALES BASADO EN PROYECTOS

El ABP es un estilo de aprendizaje activo que coloca al estudiante en el centro del proceso de aprendizaje. La exploración activa de los retos del mundo real permite a los estudiantes adquirir un conocimiento más profundo. El proceso de aprendizaje en ABP es dirigido por los estudiantes, mientras que el papel del profesor es guiar la investigación de los estudiantes proponiendo preguntas y tareas que les ayuden a resolver el problema propuesto. Se espera que el profesor presente el problema y proporcione a los estudiantes los materiales y la documentación necesarios para iniciar el proyecto. A medida que avanza la actividad, los estudiantes asumen el papel principal del proyecto.

A. Preparación del proyecto por parte del profesor

El ABP se implementó en un curso de máster, debido a la mayor experiencia de los estudiantes en comparación con los de grado. Además, el número de estudiantes de máster por curso (normalmente de 8 a 10) es menor que el de los 16 a 20 estudiantes por grupo de laboratorio en los cursos de grado. Los estudiantes de máster se organizaron en parejas y se les pidió a todos que diseñaran un banco de pruebas para evaluar el rendimiento de un sistema 802.11. Se les proporcionó dos HackRF One por grupo, una máquina virtual Ubuntu 16.04 (VM) con GNU Radio y el enlace al proyecto *gr-ieee802-11*³ GitHub con la implementación del estándar 802.11p, que se detalla en [7]. Durante el proyecto, los estudiantes tuvieron acceso al laboratorio de comunicaciones, donde había un puesto de trabajo con un ordenador, que tenía el mismo software que estaba instalado en la máquina virtual. El lugar de trabajo era compartido por todos los grupos, por lo que tuvieron que organizarse para poder acceder al laboratorio. La VM permitió a los estudiantes realizar parte de la actividad en casa, mientras que el lugar de trabajo en el laboratorio de comunicaciones les permitió probar sus avances con el hardware SDR.

B. Introducción del proyecto y tareas iniciales

Se esperaba que los estudiantes del máster realizaran parte de su investigación fuera de las horas lectivas, mientras que el tiempo en clase se dedicaba a comprobar la evolución de cada grupo y a ayudarles a continuar con su trabajo. La actividad requirió tres sesiones de clase (tres horas cada una). La primera sesión se utilizó para presentar el proyecto a los estudiantes. Se les presentó la VM, el proyecto GitHub, y su documentación citando a [7]. El proyecto SDR descrito en [7] está basado en dispositivos USRP, mientras que se esperaba que el proyecto en este caso se realizara con HackRF One. En esta primera sesión el profesor instruyó a los alumnos sobre las diferencias entre el USRP y el HackRF One. La tarea propuesta a los estudiantes en esta primera sesión fue adaptar el proyecto *gr-ieee802-11* para ser utilizado con el HackRF One. Una de las desventajas del HackRF One es que introduce un

³<https://github.com/bastibl/gr-ieee802-11>

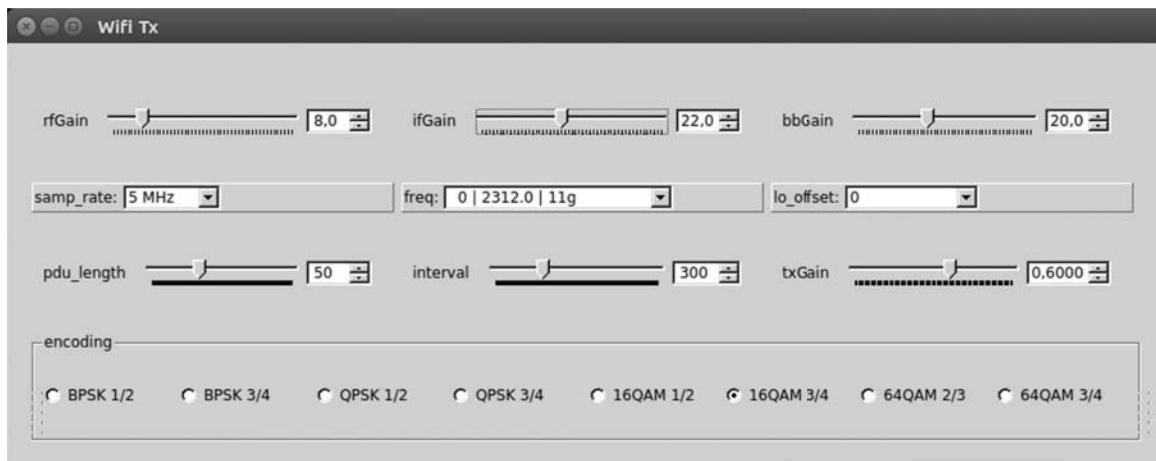


Fig. 1. Imagen de la GUI del transmisor, con los controles que permiten elegir las características de la transmisión.

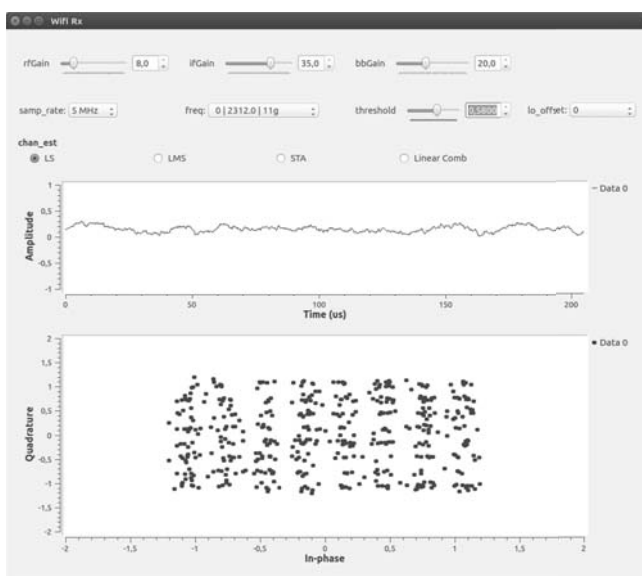


Fig. 2. Imagen de la interfaz gráfica del receptor. Los controles del receptor se colocan en la parte superior de la interfaz gráfica de usuario. La parte central muestra un gráfico de tiempo de la señal utilizada para determinar la llegada de un nuevo paquete. La parte inferior de la GUI corresponde a los símbolos recibidos en el último paquete. La imagen mostrada corresponde a una modulación 64-QAM.

pico de corriente continua (DC) en la señal IQ recibida. Se aconsejó a los estudiantes que instalaran el proyecto *gr-correctiq*⁴ GitHub, y que usaran el bloque *correctIQ* en combinación con la fuente *osmocom-source* para eliminar el pico de DC introducido por HackRF One.

Las Interfaces Gráficas de Usuario (GUI) resultantes desarrolladas por los estudiantes para el transmisor y el receptor se muestran en Fig. 1 y Fig. 2, respectivamente. Fig. 1 muestra la GUI que permite ajustar los parámetros de transmisión, que consiste en cuatro filas de controles. El primero contiene las tres ganancias ajustables para las etapas de RF, frecuencia intermedia y banda base del HackRF One. La segunda fila de controles permite fijar las frecuencias de muestreo y de canal. Los controles de la

tercera fila permiten ajustar el tamaño del paquete y el intervalo de tiempo entre paquetes consecutivos. Finalmente, la cuarta fila de controles permite elegir la modulación deseada. La Fig. 2 muestra la GUI con los controles del receptor, donde se observa que la parte superior contiene tres filas de controles para ajustar el rendimiento del receptor. Los controles de la primera y segunda fila de controles son similares a los que se muestran en Fig. 1, para el transmisor. Además se agregó un control *umbral* en la segunda fila y su función es establecer el umbral que activa la detección de un paquete entrante. La tercera fila de controles permite elegir el estimador de canal entre los tipos Least Squares (LS), Least Mean Squares (LMS), Spectral Temporal Averaging (STA) y COMB. La parte central de la GUI del receptor (Fig. 2) representa la variación temporal de la señal a la salida del detector de secuencia corta, que se utiliza para activar el receptor a la llegada de un nuevo paquete. Finalmente, la parte inferior de la interfaz gráfica de usuario muestra los símbolos recibidos.

Los controles en las GUIs de transmisión y recepción y la información mostrada en la GUI de recepción permitieron a los estudiantes de master ajustar los parámetros del transmisor y del receptor para cada esquema de modulación. Como resultado de esta actividad los estudiantes pudieron fijar las ganancias del transmisor y del receptor HackRF One. El proyecto *gr-ieee802-11* permite establecer la frecuencia de muestreo en 5 MHz o 10 MHz. Pero, considerando que la frecuencia máxima de muestreo del HackRF One es de 10 MHz y con el fin de reducir los requerimientos de computación del receptor, los estudiantes concluyeron que era más apropiado establecer la frecuencia de muestreo en 5 MHz. Los estudiantes también evaluaron cuál era el canal más adecuado para realizar sus experimentos, ya que la presencia de otros puntos de acceso WiFi (AP) interfería con los experimentos. En general, se obtuvieron mejores resultados cuando se utilizaron los canales más bajos o más altos en la banda de 2,4 GHz. El número de AP en la banda de 5 GHz era menor que en la banda de 2,4 GHz. Sin embargo, se

⁴<https://github.com/ghostop14/gr-correctiq>

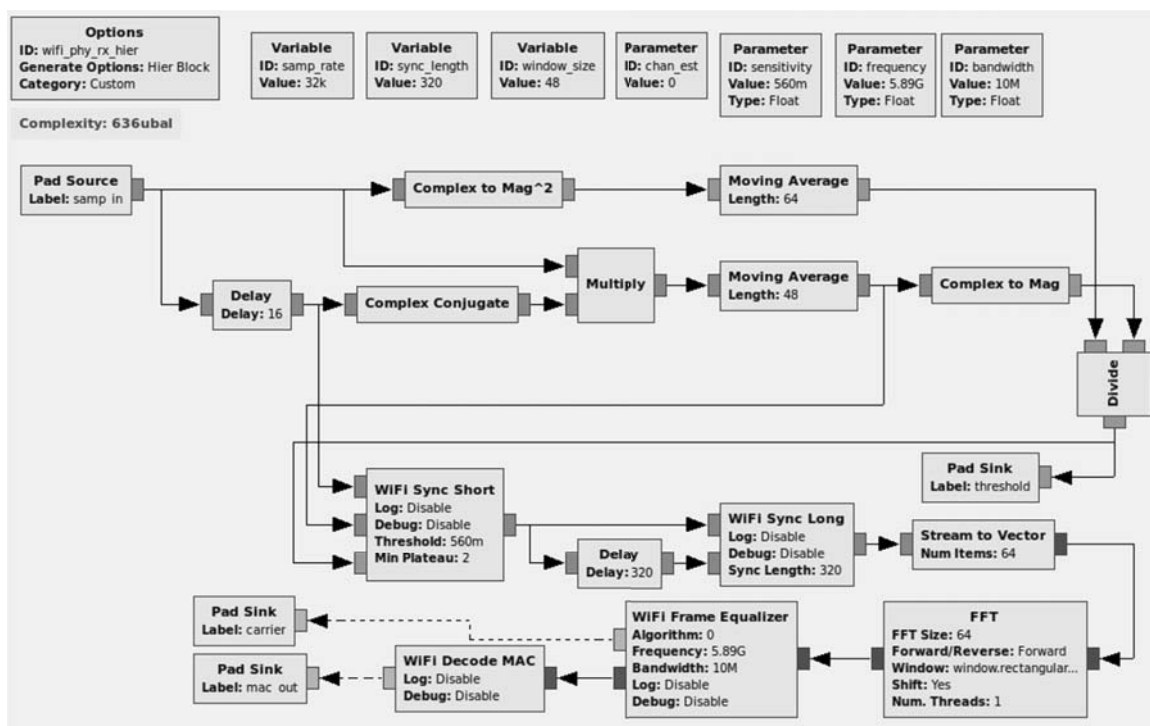


Fig. 3. Diagrama de bloques de la capa física del receptor WiFi.

Tabla I
TASA DE ERROR PARA LAS MODULACIONES DISPONIBLES
CONSIDERANDO LA NUEVA LÍNEA DE VARIOS TAMAÑOS DE
PAQUETES.

Modulation	Packet size (Bytes)		
	500	1000	1500
BPSK 1/2	0.11	0.21	0.31
BPSK 3/4	0.08	0.14	0.22
QPSK 1/2	0.06	0.11	0.15
QPSK 3/4	0.04	0.08	0.12
16 QAM 1/2	0.06	0.11	0.11
16 QAM 3/4	0.07	0.10	0.08
64 QAM 2/3	0.60	0.85	0.90
64 QAM 3/4	0.85	0.97	0.99

apreciaba un peor rendimiento del HackRF One en 5 GHz. Teniendo en cuenta este hecho y para evitar interferencias del AP vecino, los experimentos se realizaron a 2, 3 GHz.

C. Liderazgo estudiantil

Como se mencionó anteriormente, se espera que los estudiantes asuman progresivamente el liderazgo del trabajo. Esta parte de la metodología ABP duró la segunda y tercera sesiones de laboratorio, dependiendo del grado de autonomía de cada grupo de estudiantes.

La actividad propuesta a los alumnos en esta etapa consistió en leer un archivo y enviarlo a través del canal inalámbrico para evaluar el porcentaje de errores de transmisión. El texto elegido fue el libro de caballería “*El ingenioso hidalgo don Quijote de la Mancha*”, escrito por Miguel de Cervantes en 1605. La comparación entre los textos enviados y recibidos para distintas configuraciones del transmisor mostró que las diferencias se debían a las pérdidas de paquetes. Por lo tanto, para automatizar el

análisis, el bloque *wireshark connector* disponible en el proyecto *gr-ieee802-11* se utilizó para crear dos archivos *pcap*, con paquetes enviados y recibidos, que fueron procesados posteriormente con un script Python para calcular la tasa de error.

Las tasas de error logradas con cada modulación se muestran en Tabla I. Hay que mencionar que al utilizar las modulaciones 16 QAM y 64 QAM, se requería habilitar el amplificador RF del HackRF One utilizado para la transmisión, mientras que en las demás modulaciones no se requería. Se consideraron tres tamaños de paquetes diferentes para evaluar su contribución a la tasa de error. En general, la tasa de error aumentaba con el tamaño del paquete. El alto aumento de la tasa de error entre 16 QAM y 64 QAM sugiere que la calidad del canal no era lo suficientemente buena para trabajar con modulaciones 64 QAM, ya que la mayoría de los paquetes se perdieron en estos casos. Contrariamente a lo que cabría esperar, se obtuvieron tasas de error más bajas con las modulaciones QPSK que las observadas con las modulaciones BPSK y 16 QAM. Una revisión de los experimentos condujo a resultados similares, lo que indica que será necesaria una comprensión más profunda de la aplicación para determinar la causa de una observación tan inesperada.

IV. TRASLADO DE LA EXPERIENCIA A LOS LABORATORIOS DE GIT

La experimentación de ABP permite a los estudiantes ser los actores principales de su proceso de aprendizaje. Además, la experiencia proporciona al profesor información valiosa relacionada con el rendimiento del sistema y también con los problemas a los que se enfrenta. Toda

Tabla II
VARIACIÓN DE LOS VALORES PROMEDIO DE LA ENERGÍA,
ABSORCIÓN E IMPLICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES.

	Energía	Absorción	Implicación
Previo	2.50	2.82	3.17
Posterior	2.60	3.00	3.31
Diferencia	0.1	0.18	0.14

- **Absorción:** evalúa la capacidad del alumno para concentrarse en aquellas tareas que está realizando. (Q3, Q6, Q9)
- **Implicación:** evalúa la percepción del estudiante sobre la relevancia de las actividades que realiza. (Q2, Q5, Q7)

El laboratorio de FST en el que se llevó a cabo la experiencia está formado por dos partes. La primera parte se basa en simulaciones y cálculos de carácter teórico realizados en Matlab, mientras que en la segunda parte se plantean experiencias más aplicadas basadas en plataformas SDR. Para evaluar la contribución del uso de plataformas SDR en la motivación de los estudiantes se realizó la anterior encuesta en 2 ocasiones a lo largo del laboratorio. La primera al final del bloque de prácticas teóricas basadas en Matlab, y la segunda al final de curso tras haber realizado todas las prácticas basadas en SDR. El tiempo transcurrido entre ambas encuestas es de 2 meses, se ha considerado suficiente como para que en la realización de las encuestas por segunda vez los estudiantes no recuerden lo que contestaron en la primera ocasión.

Las actividades de laboratorio basadas en SDR tienen una contribución del 10 % de la nota final de la asignatura de FST, de 2º de GIT, por lo que la asistencia y realización de las mismas tiene carácter obligatorio. Sin embargo, la realización de las encuestas ha sido totalmente voluntaria, si bien es cierto que todos los 36 estudiantes asistentes al laboratorio respondieron las encuestas. Para cuantificar cada uno de los aspectos relacionados con la motivación académica se han agregado las respuestas a todas las preguntas relacionadas con cada uno de ellos. En la Tabla II se presenta la valoración de los estudiantes en cada uno de los aspectos en la encuesta previa y posterior, así como la diferencia en la valoración. Se aprecia una ligera mejora en todos los aspectos desde la primera a la segunda encuesta. El aspecto en el que se aprecia una mayor mejora es en la capacidad del estudiante en centrarse en la realización de las tareas que está llevando a cabo.

Además de presentar los valores promedio de cada uno de los aspectos, en la Fig. 5 se presenta el porcentaje de veces que los estudiantes asignaron cada valor en cada uno de los aspectos. Además de aumentar la valoración, en promedio, en la segunda encuesta se aprecia cómo en las respuestas relacionadas con la energía y la absorción las valoraciones se concentran más en valores intermedios. Mientras que en el caso de la implicación se aprecia un ligero incremento de las valoraciones más extremas (nunca y siempre).

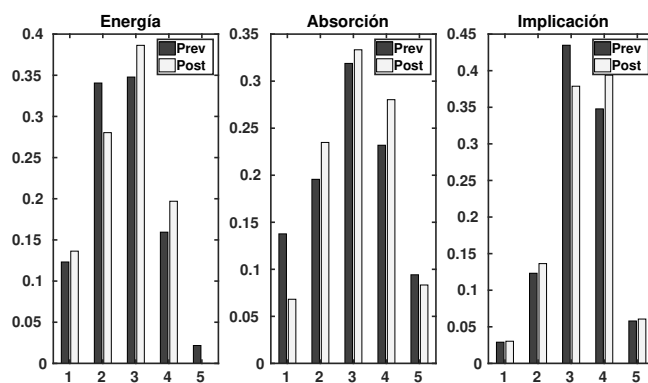


Fig. 5. Porcentaje de respuestas en cada uno de los aspectos. Energía (izquierda), absorción (centro), implicación (derecha). En azul se muestran los resultados de la encuesta previa y en amarillo los de la realizada al final del semestre.

VI. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado la experiencia llevada a cabo con los estudiantes de máster (MITUV) y grado (GIT). Aprovechando el menor número de estudiantes y su mayor nivel de formación y autonomía se ha propuesto a los estudiantes de máster una estrategia basada en ABP, en el que se les proponía la implementación de un banco de pruebas para un sistema de comunicación inalámbrica basada en el protocolo 802.11. A partir de la experiencia llevada a cabo con los estudiantes de máster se ha preparado un material más guiado, adaptado para los estudiantes de la asignatura FST del grado GIT.

El hecho de que los estudiantes de máster hayan trabajado previamente el material, ha contribuido a adaptar mejor las guías de prácticas presentadas a los estudiantes de grado. Además, se ha completado un estudio previo en el que se comprobó que la realización de prácticas más aplicadas basadas en plataformas SDR contribuía a mantener la motivación de los estudiantes a lo largo del semestre. En esta ocasión se ha empleado una encuesta para cuantificar los tres aspectos (energía, absorción e implicación) relacionados con la motivación profesional. El resultado de la encuesta ha probado que la realización de prácticas aplicadas ha contribuido principalmente a mejorar la capacidad de los estudiantes para centrarse en la tarea que están realizando. También ha contribuido a mejorar la percepción que los estudiantes tienen sobre la relevancia de las tareas que llevan a cabo en el laboratorio. En menor medida, pero también ha contribuido a mejorar la resiliencia de los estudiantes en la resolución de problemas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Economía a través del proyecto BIA2016-76957-C3-1-R y por el “Servei de Formació Permanent i Innovació Educativa” de la Universitat de València a través del proyecto UV-SFPIE-RMD18-841566.

REFERENCIAS

- [1] M. El-Hajjar, Q. A. Nguyen, R. G. Maunder, and S. X. Ng, “Demonstrating the practical challenges of wireless communications

- using usrp,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 5, pp. 194–201, 2014.
- [2] V. P. G. Jimenez, A. L. Serrano, B. G. Guzman, and A. G. Armada, “Learning mobile communications standards through flexible software defined radio base stations,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 5, pp. 116–123, 2017.
- [3] R. W. 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 Communications Magazine*, vol. 53, no. 9, pp. 64–71, 2015.
- [4] R. Ettus, “Universal software radio peripheral (usrp),” <https://www.ettus.com>, 2015, (Visited on: 27/02/2019).
- [5] Y. Linn, “An ultra low cost wireless communications laboratory for education and research,” *IEEE Transactions on Education*, vol. 55, no. 2, pp. 169–179, 2012.
- [6] J. Segura-García, A. Soriano-Asensi, C. Botella-Mascarell, S. Felici-Castell, and M. García Pineda, “Uso de software defined radio en la enseñanza de sistemas de telecomunicaciones,” in *Actas de las XIII Jornadas de Ingeniería Telemática (Jitel 2017)*. Sept, Valencia (Spain), 2017, pp. 370–378.
- [7] B. Bloessl and C. Sommer, “Performance assessment of ieee 802.11p with an open source sdr-based prototype,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 17, pp. 1162–1175, 5 2018.
- [8] R. García-Ros, F. Pérez-González, J. M. Tomás, and I. Fernández, “The schoolwork engagement inventory: Factorial structure, measurement invariance by gender and educational level, and convergent validity in secondary education (12-18) years,” *Journal of Psychoeducational Assessment*, vol. 36, pp. 588–603, 2017.
- [9] W. Schaufeli and A. Bakker, “Uwes: Utrecht work engagement scale,” Utrecht University, Tech. Rep., 2004.