

Un laboratorio de ciencias en tu bolsillo

A science lab in your pocket

Camila F. Marín-Sepúlveda^a, Ives Torriente-García^b, Isabel Salinas^c, Vanesa P. Cuenca-Gotor^d,
Marcos H. Giménez^e, Juan A. Sans^f, Juan C. Castro-Palacio^g, Juan A. Monsoriu^h

Departamento de Física Aplicada, Universitat Politècnica de València. ^acmarin@doctor.upv.es, ^bitorgar@alumni.upv.es,
^cisalinas@fis.upv.es, ^dvacuego@fis.upv.es, ^emhginene@fis.upv.es, ^fjuasant2@upvnet.upv.es, ^gjuancas@upvnet.upv.es,
^hjmonsori@fis.upv.es

How to cite: Marín-Sepúlveda, C. F.; Torriente-García, I.; Salinas, I.; Cuenca-Gotor, V. P.; Giménez, M. H.; Sans, J. A.; Castro-Palacio, J. C. y Monsoriu, J. A. 2022. *Un laboratorio de ciencias en tu bolsillo*. En libro de actas: *Jornadas Hacia una Nueva Cultura Científica*. Valencia, 26 - 27 de septiembre de 2022. <https://doi.org/10.4995/NCC2022.2022.15880>

Abstract

In today's digital society, smartphones are a fundamental technological tool in our daily work; and not just as a means of communication. We also wake up with our mobile phones, we check our mail, we examine WhatsApp, we attend social networks, we listen to music, we examine the agenda, we read the news, etc. In short, the mobile has become a fundamental element in our lives; and much more among the youth. Thus, to the extent that we can introduce the mobile in the classroom, always in a controlled way, the students will feel much more comfortable, allowing the teaching-learning process to be much more attractive and, therefore, more profitable. The simulation of physical processes through virtual laboratories would be a way of integrating these devices in the classroom. As we will see below, the students' own smartphones can also be used as a measuring instrument in real laboratory practices (outside the virtual world) thanks to sensors that these devices have integrated.

Keywords: smartphones, sensors.

Resumen

En la sociedad digital actual, los smartphones o teléfonos inteligentes son una herramienta tecnológica fundamental en nuestro quehacer diario; y no solo como medio de comunicación. También nos despertamos con el móvil, miramos el correo, examinamos el WhatsApp, atendemos las redes sociales, escuchamos música, consultamos la agenda, leemos las noticias, etc. En definitiva, el móvil se ha convertido en un elemento fundamental en nuestras vidas; y mucho más entre la juventud. Así pues, en la medida en que podemos introducir el móvil a las aulas, siempre de forma controlada, el alumnado se sentirá mucho más cómodo, y esto permitirá que el proceso enseñanza-aprendizaje sea mucho más atractivo y, por ende, más provechoso. La simulación de procesos físicos a través de laboratorios virtuales sería una vía de integración de estos dispositivos en el aula. Como veremos a continuación, también se pueden utilizar los smartphones de los propios alumnos como instrumento de medida en prácticas de laboratorio reales (fuera del mundo virtual) gracias a sensores que llevan integrados estos dispositivos.

Palabras clave: smartphones, sensores.

1. Introducción

Tradicionalmente, en las prácticas de laboratorio de Física los alumnos estudian desde el punto de vista experimental las leyes que han trabajado previamente en clase. Así pues, el objetivo de las prácticas de laboratorio es doble: por un lado, reforzar los conocimientos adquiridos en las clases de teoría, y por otro lado habituarse a las técnicas experimentales propias de laboratorio: manejo de aparatos de medida, toma de datos experimentales y su análisis, cálculos de incertidumbres, etc.

Algunos de estos aparatos de medida son muy sencillos (cronómetro, regla) y otros son mucho más complejos (multímetro, osciloscopio, ordenador). En cualquier caso, resulta muy importante, para la correcta formación del alumnado que adquiera habilidades en la utilización de dichos aparatos de medida (instrumentación específica) así como en el análisis de los datos obtenidos (pensamiento crítico), además de otras competencias transversales como el trabajo en equipo necesario para el desarrollo de la práctica.

Sin embargo, en numerosas ocasiones, los alumnos encuentran rutinarias y poco enriquecedoras las prácticas de asignaturas relacionadas con la Física, lo que conlleva que no se muestren interesados en las mismas. Tratan de realizar las mínimas medidas exigidas por el profesor lo antes posible para poder terminar la práctica a la mayor brevedad, de manera mecánica, y sin reflexión crítica sobre el trabajo realizado.

Para paliar este tipo de problemas y hacer más atractivas las prácticas de Física podemos encontrar en la literatura científica propuestas en las que se utilizan diversos recursos electrónicos con sensores de movimiento, como los mandos de Nintendo Wii (Tomarken, 2012) o de la Xbox (Ballester, 2013). El controlador de Nintendo Wii tiene tres acelerómetros integrados que permiten registrar los movimientos tridimensionales simultáneos de varios objetos mediante conexión Bluetooth. El sensor Kinect de la Xbox posibilita el rastreo de datos en 3D sobre una base de tiempos. Sin embargo, ambos dispositivos requieren un software específico que no está ampliamente disponible en los laboratorios de Física.

En este contexto surgió SMARTPHYSICS (Fig. 1), con la intención de generar una nueva perspectiva en el ámbito educativo, introduciendo los smartphones del alumnado como un nuevo elemento motivador en el aula, integrándolo en las prácticas de Física como dispositivo de medida y toma de datos a través de los sensores que incorpora (acelerómetro, sensor de luz, sensor de campo magnético...). El alumnado está acostumbrado a utilizar el teléfono móvil en su entorno social, y que vean que puede ser útil también como dispositivo de medida, despierta su curiosidad e interés. En este trabajo se resumen los principales resultados obtenidos con la iniciativa SMARTPHYSICS en los primeros cursos de universidad, aunque también tiene una vertiente orientada a estudiantes de la ESO y Bachillerato.

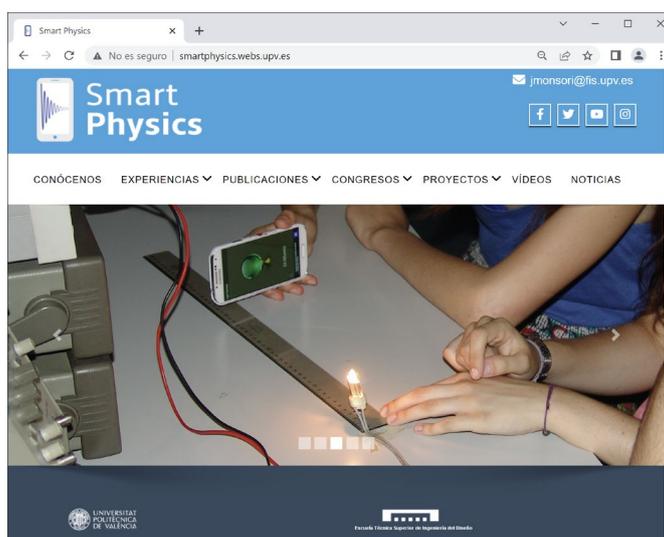


Fig. 1. Ventana principal del portal web del proyecto SMARTPHYSICS (<http://smartphysics.webs.upv.es/>).

2. Desarrollo del proyecto SMARTPHYSICS

SMARTPHYSICS es una línea de investigación en ciencias de la educación relativamente reciente e innovadora, ya que la primera propuesta ‘telefónica’ fue publicada a nivel preuniversitario en 2012 (Kuhn, 2012). El grupo de trabajo SMARTPHYSICS fue pionero en extender el uso del Smartphone a nivel universitario, con experiencias de carácter mucho más cuantitativo en las que el alumnado ha de realizar un análisis riguroso de las medidas obtenidas a través de los sensores. En concreto, la primera propuesta universitaria fue publicada en la revista *American Journal of Physics* editada por la American Association of Physics Teachers (Castro-Palacio, 2013a). Mediante el sensor de aceleración de un smartphone se han podido caracterizar oscilaciones libres y amortiguadas. En la Fig. 2 se muestra una imagen del dispositivo experimental implementado mediante un Smartphone ubicado en una deslizadera sobre un carril de aire. Reduciendo el caudal de aire, conseguimos un amortiguado en las oscilaciones como consecuencia de la fricción entre la deslizadera y el carril. Los datos obtenidos con el acelerómetro se pueden exportar fácilmente a un ordenador mediante diferentes aplicaciones gratuitas, y se ajustan a las ecuaciones que gobiernan al sistema. En un trabajo posterior, unimos la deslizadera mediante un resorte a un motor vibrador, lo que también nos permitió caracterizar oscilaciones forzadas (Salinas, 2018a).



Fig. 2. Caracterización de oscilaciones amortiguadas mediante el acelerómetro de un smartphone.

También con el acelerómetro se pueden caracterizar oscilaciones acopladas (Castro-Palacio, 2013b), batido mecánico (Giménez, 2017a), movimientos circulares (Castro-Palacio, 2014; Salinas, 2019), oscilaciones bidimensionales (Tuset-Sanchis, 2015; Giménez, 2017b), etc. El giroscopio del smartphone (también conocido como sensor de velocidad angular) permite analizar la dinámica del movimiento de un yoyo (Salinas, 2020) (Fig. 3). Como el yoyo es un juguete ubicuo, simple y tradicional, esta sencilla propuesta podría animar al alumnado a experimentar con objetos cotidianos y tecnologías modernas.



Fig. 3. Caracterización del movimiento de un yoyo mediante el giroscopio de un smartphone.

Por otro lado, podemos transformar el smartphone en un sonómetro utilizando su micrófono, y a través de una de las múltiples aplicaciones gratuitas que miden la intensidad acústica en función del tiempo (Fig. 4). De esta

forma, se puede obtener la frecuencia del batido generado por la superposición de dos ondas acústicas sinusoidales de igual intensidad y frecuencias próximas, para comprobar que la diferencia entre estas frecuencias coincide con la del batido acústico (Salinas, 2014). También se puede caracterizar con precisión el efecto Doppler, es decir, el cambio de frecuencia aparente de una onda acústica producida por el movimiento relativo de la fuente respecto a su observador (Gómez-Tejedor, 2014).



Fig. 4. Caracterización del batido acústico mediante el micrófono de un smartphone.

A través del sensor de presión podemos utilizar el smartphone como barómetro. Al introducirlo protegido en un líquido, y midiendo la presión en función de la profundidad, se puede determinar fácilmente la densidad del líquido (Salinas, 2018b).



Fig. 5. Caracterización de la densidad de un líquido mediante el sensor de presión de un smartphone.

Entre las propuestas más llamativas de SMARTPHYSICS se puede destacar el estudio de la eficiencia luminosa de una lámpara con el sensor de luz ambiente de un smartphone (Sans, 2017), el estudio de movimientos mediante las variaciones de intensidad (Sans, 2013), y la caracterización de fuentes luminosas lineales (Salinas, 2018c) que se muestra en la Fig. 6.

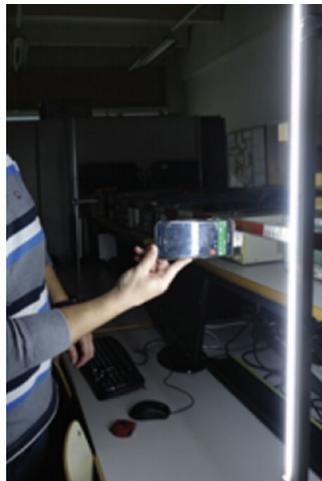


Fig. 6. Caracterización de una fuente lineal mediante el sensor de luz de un smartphone.

Para el desarrollo de todas estas experiencias, contamos con el impulso inicial de dos proyectos PIME consecutivos desarrollados en la ETSID (Sans, 2015; Monsoriu, 2016). Este impulso inicial permitió consolidar la innovación y facilitó la difusión de los resultados mediante la página web del proyecto, la publicación en diversos congresos de docencia y, principalmente, en revistas internacionales de prestigio en el ámbito de la docencia de la Física, con el objetivo de que pudieran ser utilizados en diferentes centros educativos, tanto de la UPV como de otras universidades y centros educativos. Además de estos trabajos, varios autores han presentado experiencias muy interesantes con los Smartphones (Monteiro, 2022), como por ejemplo la caracterización de pequeños imanes con el sensor del campo magnético (Arribas, 2015).

SMARTPHYSICS también tiene una vertiente en ESO y Bachillerato. Cada verano el Campus de Excelencia Internacional de Valencia VLC/Campus de Valencia organiza un Campus Científico promovido por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). Durante los años de pandemia, el Campus dejó de ofertarse temporalmente, pero está previsto que se reactive el próximo año 2023. Dentro de este campus científico, alumnos brillantes de 4º de la ESO y 1º de Bachillerato participan en el taller “Experimenta la Física con tu Smartphone”, que se desarrolla en la ETSID. En este taller los alumnos aprovechan gran parte de los sensores de sus móviles para realizar sencillos experimentos de Física adaptándolos a su nivel educativo. Por ejemplo, mediante el acelerómetro son capaces de registrar el movimiento armónico simple del Smartphone colgando de un muelle y determinar el periodo de oscilación en función de la masa del Sistema (Fig. 7).



Fig. 7. Alumnado preuniversitario analizando con un smartphone oscilaciones libres.

Mediante el sensor de campo magnético de los smartphones y con una aplicación adecuada que transforma el teléfono en una brújula, el alumnado ve cómo se desvía la orientación de la brújula por el campo magnético creado por la corriente de un cable (Fig. 8).

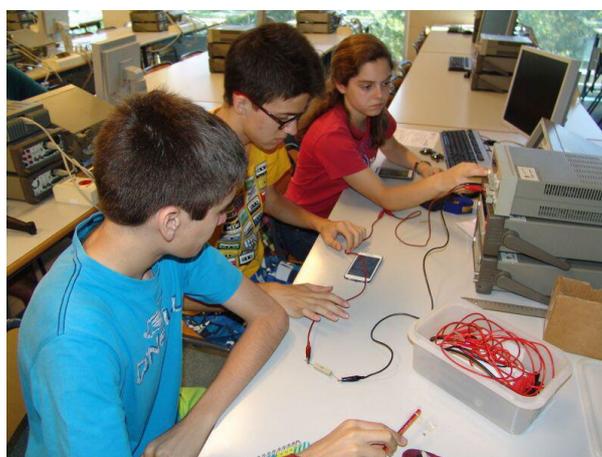


Fig. 8. Alumnado preuniversitario analizando con un smartphone el campo magnético creado por un conductor.

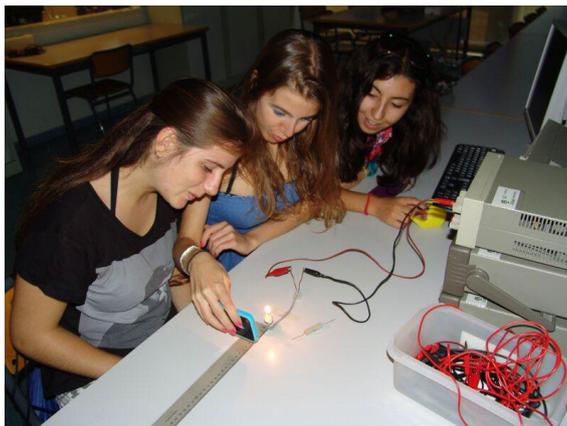


Fig. 9. Alumnado preuniversitario analizando con un smartphone la intensidad de luz generada por una fuente.

En este taller de hora y media de duración, el alumnado también mide la intensidad de luz de una bombilla halógena en función de la distancia, utilizando el sensor de luz ambiente de sus smartphones (Fig. 9). De esta forma, son capaces de verificar lo que se conoce como la ley de inverso del cuadrado de la distancia (que si duplicamos la distancia a la fuente de luz, la intensidad luminosa decae en un factor cuatro).

En un contexto similar, con estudiantes de 3º o 4º de la ESO, SMARTPHYSICS participa en el Programa CIENCIALAB de la Universitat Politècnica de València. El objetivo de CIENCIALAB es despertar vocaciones científicas entre los y las jóvenes mediante la organización de talleres científicos, tecnológicos y artísticos, impartidos por profesorado universitario en las instalaciones de la UPV. En este taller se proponen unos sencillos experimentos de física y tecnología que se desarrollarán con los sensores que encontramos habitualmente en nuestros móviles; a través de ellos, podemos ver cómo nuestro teléfono cuenta los pasos, o nos permite convertirlo en una brújula, o cómo fotografiar el mundo microscópico transformándolo de forma muy sencilla en una cámara macro. Todas las experiencias desarrolladas se enmarcan en asignaturas de Física de los primeros cursos de universidad, pero con alguna simplificación de la base teórica y del análisis de datos resultan también adecuadas para educación preuniversitaria, incluso para público general (<https://www.youtube.com/watch?v=h0JZkLjFk1w>).

3. Impacto del proyecto SMARTPHYSICS

El Proyecto SMARTPHYSICS tiene un impacto directo en la adquisición de competencias transversales. En primer lugar, el alumnado tiene que desarrollar un “pensamiento crítico” para entender los fundamentos en los que se basa la experiencia y analizar razonadamente los resultados obtenidos con los sensores de sus smartphones. Además, el proyecto fomenta el “aprendizaje permanente” de los alumnos al dotarlos de una herramienta para realizar sus propias experiencias científicas fuera de la Universidad de manera autónoma y flexible. Por otro lado, en la evaluación de las prácticas de laboratorio se tiene en cuenta especialmente una correcta “comunicación efectiva” de los resultados obtenidos con los smartphones, mediante la elaboración de unas memorias de laboratorio desarrolladas en un contexto de “trabajo en equipo”.

Para determinar la valoración de la experiencia por parte del alumnado, hemos realizado y seguimos realizando encuestas de satisfacción. Como somos un equipo de trabajo amplio y se imparte docencia en varios grupos, siempre comparamos los resultados de la encuesta en los grupos tradicionales, con los de los grupos donde se ha introducido la innovación (smartphone). A modo de ejemplo, vamos a mostrar los resultados de la evaluación de la práctica de laboratorio “Determinación de la constante de un muelle”. Tradicionalmente, el alumnado estudia el movimiento armónico simple mediante un muelle del cual se suspende una masa conocida a la que se hace oscilar. A partir de la medida del periodo de oscilación, el alumnado determina la constante elástica del muelle. De forma alternativa, mediante el acelerómetro incorporado en el smartphone, se puede registrar la aceleración que experimenta el teléfono suspendido de un muelle. Así, el alumnado dispone de una información mucho más

rica (serie temporal de la aceleración) para el estudio del movimiento armónico simple. En la Tabla 1 se muestran las preguntas planteadas, así como la valoración realizada en cada grupo de estudiantes, en una escala de 0 a 10. La encuesta se ha realizado a un total de 269 estudiantes de la ETSID de los que 132 han utilizado el smartphone, y 137 han seguido la metodología tradicional. Se puede observar una calificación mucho más alta en los apartados de la encuesta por parte de los grupos que han realizado la práctica con teléfono móvil inteligente, que por los que han seguido el método tradicional. Únicamente la pregunta relacionada con el tiempo disponible para la realización de la práctica obtiene una puntuación algo menor. Esto se justifica por el tiempo requerido para la instalación de la aplicación en el teléfono móvil, la familiarización del alumnado con la misma, el envío de los datos del móvil al ordenador, y el uso de una hoja de cálculo para el análisis de dichos datos. No obstante, el *smartphone* permite comprender mejor el fenómeno físico estudiado, ya que el alumnado puede visualizar el movimiento armónico simple analizado, y no se limita únicamente a cronometrar oscilaciones.

Tabla 1. Evaluación del proyecto SMARTPHYSICS a nivel universitario.

PREGUNTA	Tradicional	Smartphone
1. La práctica se adecua a la temática general de la asignatura.	7,6	9,0
2. Los objetivos deseables se han indicado claramente al inicio de la práctica.	7,1	8,3
3. El tiempo disponible para realizar la práctica es adecuado.	6,3	5,9
4. La metodología empleada y las actividades realizadas son adecuadas.	6,6	8,2
5. El material utilizado me ha resultado motivador.	5,8	8,2
6. Me ha sorprendido el procedimiento de medida.	4,9	8,1
7. El profesorado ha resuelto las dudas con claridad y precisión.	6,5	8,5
8. Esta práctica me ha resultado más interesante que las anteriores.	5,7	8,1
9. Mi valoración general de la práctica es buena.	6,8	8,5

A nivel preuniversitario, también hemos evaluado el Proyecto SMARTPHYSICA en el contexto del Campus Científico anteriormente comentado. Tras la realización de diversas experiencias con los smartphones, el alumnado cumplimentó una breve encuesta cuyos resultados (sobre 10 puntos) se muestran en la Tabla 2. A la vista de estos podemos concluir que la valoración general del Taller por parte de estudiantes de educación media fue muy buena (9 puntos), destacando fundamentalmente la metodología seguida (9,17) y los materiales (sus propios smartphones) utilizados (9,46). La temática (Física) ha sido la que ha obtenido la puntuación más baja (7,38). Sin embargo, hay que tener en cuenta que en esta sesión transversal participa todo el alumnado del campus científico, independientemente del proyecto en el que estuvieran inscritos (Física, Matemáticas, Química o Medicina).

Además del impacto directo, tanto en la motivación como en el rendimiento del alumnado, el grupo de trabajo SMARTPHYSICS ha realizado un esfuerzo considerable en la publicación de los resultados de la innovación, tanto en congresos de innovación educativa como en revistas de prestigio en el ámbito de la enseñanza de la Física e Ingeniería. En el apartado de referencias de este trabajo se puede comprobar el elevado número de publicaciones realizadas en revistas indexadas en ámbito EDUCATION de la Web of Science y/o SCOPUS. Varios de estos artículos ya superan la treintena de citas en la Web of Science, lo que demuestra el impacto de la innovación y su transferencia a otras universidades. Adicionalmente, la calidad de la innovación desarrollada viene también avalada por las más de 50 reseñas en medios de comunicación (<http://smartphysics.webs.upv.es/noticias>) que ha recibido el proyecto SMARTPHYSICS.

Tabla 2. Evaluación del proyecto SMARTPHYSICS a nivel preuniversitario.

PREGUNTA	1ª Bach.	4º ESO	MEDIA
1. El profesorado parece dominar la temática de la sesión.	9,75	9,75	9,75
2. Me han resuelto las dudas con claridad y precisión.	8,39	8,02	8,21
3. Me han animado a participar activamente en la sesión.	8,58	8,00	8,29
4. Han conseguido despertar mi interés por la temática de la sesión.	7,42	7,33	7,38
5. Los objetivos se han indicado al inicio de la sesión.	9,22	8,25	8,74
6. La duración de la sesión es adecuada.	9,00	7,75	8,38
7. La metodología empleada y las actividades realizadas son adecuadas.	9,33	9,00	9,17
8. Los materiales utilizados son los adecuados.	9,42	9,50	9,46
9. Mi valoración general de la sesión es buena.	9,08	8,92	9,00

Merece especial atención la concesión del PREMIO DE LA REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FÍSICA Y LA FUNDACIÓN BBVA 2019 al Mejor Artículo de Enseñanza en las Publicaciones de la RSEF por el trabajo “Cómo visualizar oscilaciones forzadas en tu smartphone”, publicado en la Revista Española de Física, Vol. 32 (4) 2018. El jurado del premio valoró especialmente “la capacidad de los autores para diseñar un experimento que, aprovechando un dispositivo de amplio uso y fácil acceso como un smartphone, permite a los estudiantes familiarizarse con distintos conceptos de física clásica, su fundamento matemático y el manejo de software de ajuste de datos” (<https://www.fbbva.es/galardonados/como-visualizar-oscilaciones-forzadas-en-tu-smartphone/>).

4. Conclusiones

A través del Proyecto SMARTPHYSICS hemos propuesto varias aplicaciones de teléfonos móviles inteligentes en el área de la Física experimental, aprovechando los sensores que estos dispositivos incorporan y la creciente disponibilidad de Apps gratuitas que los controlan. Las experiencias propuestas son adecuadas en general para asignaturas de Física en los primeros cursos de Universidad. También resultan adecuadas para educación secundaria, incluso para el público en general, aunque quizá con alguna simplificación de la base teórica y del análisis de datos. Dado que nuestra intención última es que estas experiencias supongan una alternativa más interesante y motivadora que los procedimientos tradicionales, un aspecto relevante es la opinión del alumnado. Las encuestas realizadas manifiestan la valoración positiva del alumnado, tanto universitarios como de educación secundaria.

5. Referencias

- ARRIBAS, E., ESCOBAR, I., SUAREZ, C.P., NAJERA, A. y BELÉNDEZ, A. (2015). “Measurement of the magnetic field of small magnets with a smartphone: a very economical laboratory practice for introductory physics courses” en *European Journal of Physics* 36, 065002
- BALLESTER, J. y PHEATT, CH. (2013). “Using the Xbox Kinect sensor for positional data acquisition” en *American Journal of Physics* 81, 71.
- CASTRO-PALACIO, J.C., VELÁZQUEZ-ABAD, L., GIMÉNEZ, M.H. y MONSORIU, J.A. (2013a). “Using a mobile phone acceleration sensor in physics experiments on free and damped harmonic oscillations” en *American Journal of Physics* 81, 472.
- CASTRO-PALACIO, J.C., VELÁZQUEZ-ABAD, L., GIMÉNEZ, F. y MONSORIU, J.A. (2013b). “A quantitative analysis of coupled oscillations using mobile accelerometer sensors” en *European Journal of Physics* 34, 737.

- CASTRO-PALACIO, J.C., VELÁZQUEZ-ABAD, L., GÓMEZ-TEJEDOR, J.A., MANJÓN, F.J. y MONSORIU, J.A. (2014). "Using a smartphone acceleration sensor to study uniform and uniformly accelerated circular motions" en *Revista Brasileira de Ensino de Física* 36, 2, 2315.
- GIMÉNEZ, M.H., SALINAS, I., MONSORIU, J.A. y CASTRO-PALACIO, J.C. (2017a). "Direct Visualization of Mechanical Beats by Means of an Oscillating Smartphone" en *The Physics Teacher* 55, 424.
- GIMÉNEZ, M.H., CASTRO-PALACIO, J.C., GOMEZ-TEJEDOR, J.A., VELAZQUEZ, L. y MONSORIU, J.A. (2017b). "Theoretical and experimental study of the normal modes in a coupled two-dimensional system" en *Revista Mexicana de Física E* 63, 100.
- GÓMEZ-TEJEDOR, J.A., CASTRO-PALACIO, J.C. y MONSORIU, J.A. (2014). "The acoustic Doppler effect applied to the study of linear motions" en *European Journal of Physics* 35, 025006.
- KUHN, J. y VOGT, P. (2012). "Analyzing spring pendulum phenomena with a smart-phone acceleration sensor" en *The Physics Teacher* 50, 504.
- MONSORIU, J.A., BALLESTER, E., CUENCA, V.P., GIMÉNEZ, M.H., MANJÓN, F.J., ROMERO, F., SALINAS, I., SANS, J.A. y GÓMEZ, J.A. (2016). "Smartphysics: el uso docente del smartphone para el desarrollo de competencias transversales" en *Memoria de Proyectos de Innovación y Mejora Educativa 2015-2016*, pp. 433- 449.
- MONTEIRO, M. y MARTÍ, A.C. (2022). "Resource Letter MDS-1: Mobile devices and sensors for physics teaching" en *American Journal of Physics* 90, 328.
- SALINAS, I. GIMÉNEZ, M.H., CASTRO-PALACIO, J.C., GÓMEZ-TEJEDOR, J.A. y MONSORIU, J.A. (2017). "The Smartphone as a Sound Level Meter: Visualizing Acoustical Beats" en *Técnica Industrial* 318, 34.
- SALINAS, I., GIMÉNEZ, M.H., SANS, J.A., CASTRO-PALACIO, J.C. y MONSORIU, J.A. (2018a). "Cómo visualizar oscilaciones forzadas en tu smartphone" en *Revista Española de Física* 32, 21.
- SALINAS, I., GIMÉNEZ, M.H., MONSORIU, J.A. y CASTRO-PALACIO, J.C. (2018b). "El smartphone como barómetro en experimentos de Física" en *Modelling in Science Education and Learning* 11, 15.
- SALINAS, I., GIMÉNEZ, M.H., MONSORIU, J.A. y CASTRO-PALACIO, J.C. (2018c). "Characterization of linear light sources with the smartphone's ambient light sensor" en *The Physics Teacher* 56, 562.
- SALINAS, I. GIMÉNEZ, M.H., MONSORIU, J.A. y SANS, J.A. (2019). "Demonstration of the parallel axis theorem through a smartphone" en *The Physics Teacher* 57, 340.
- SALINAS, I., MONTEIRO, M., MARTÍ, A. y MONSORIU, J.A. (2020). "Analyzing the Dynamics of a Yo-Yo Using a Smartphone Gyroscope Sensor" en *The Physics Teacher* 58, 569.
- SANS, J.A., MANJÓN, F.J., PEREIRA, A.L.J., GOMEZ-TEJEDOR, J.A. y MONSORIU, J.A. (2013). "Oscillations studied with the smartphone ambient light sensor" en *European Journal of Physics* 34, 1349.
- SANS, J.A., MANJÓN, F.J., SALINAS, I., GIMENEZ, M.H., GIMÉNEZ, F., BALLESTER, E., GARCÍA, L.M., CALABUIG, J.M., CUENCA, V.P., MONSORIU, J.A., y GÓMEZ, J.A. (2015). "Experimenta la Física con tu smartphone: una experiencia multidisciplinar para el desarrollo de competencias transversales" en *Memoria de Proyectos de Innovación y Mejora Educativa 2014-2015*, pp. 485- 496.
- SANS, J.A., GEA-PINAL, J., GIMENEZ, M.H., ESTEVE, A.R., SOLBES, J., y MONSORIU, J.A. (2017). "Determining the efficiency of optical sources using a smartphone's ambient light sensor" en *European Journal of Physics* 38, 025301.
- TOMARKEN, S.L., SIMONS, D.R., HELMS, R.W., JOHNS, SCHRIVER, K.E. y WEBSTER, M.S. (2012). "Motion tracking in undergraduate physics laboratories with the Wii remote" en *American Journal of Physics* 80, 351.
- TUSET-SANCHIS, L., CASTRO-PALACIO, J.C., GÓMEZ-TEJEDOR, J.A., MANJÓN, F.J. y MONSORIU, J.A. (2015). "The Study of Two-Dimensional Oscillations Using a Smartphone Acceleration Sensor: Example of Lissajous Curves" en *Physics Education* 50, 580.