

# El laboratorio en el bolsillo: Aprendiendo física con tu smartphone

Miguel Á. González<sup>1</sup> y Manuel Á. González<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física de la Materia Condensada. UVA

<sup>2</sup>Departamento de Física Aplicada. UVA

La enseñanza de la física está fuertemente basada en el trabajo experimental de los alumnos. El trabajo en el laboratorio les permite aprender el uso de material y técnicas experimentales o de análisis, pero también las limitaciones de las leyes teóricas y de los datos obtenidos en el laboratorio. Se trata, entonces, de un trabajo fundamental para un aprendizaje y comprensión más completos de la física y debe entonces reforzarse, tanto desde un punto de vista práctico como haciéndolo más atractivo y motivando el trabajo autónomo de los alumnos. En muchas situaciones, sin embargo, razones presupuestarias o de número de alumnos limitan las posibilidades de trabajo experimental de los estudiantes. En este artículo divulgativo mostramos cómo los teléfonos móviles, que todos los alumnos llevan consigo casi de manera permanente, pueden convertirse en herramientas muy útiles tanto para realizar algunos experimentos sencillos de física como para motivar el trabajo personal de los alumnos y hacerles más interesante y atractivo el aprendizaje de la física.

---

## Introducción

En los últimos años el uso de los ordenadores en educación ha evolucionado de un aprendizaje ayudado por ordenadores de escritorio a un aprendizaje basado en recursos disponibles en la web y, ya más recientemente, a un aprendizaje basado en dispositivos móviles [1]. La enseñanza basada en dispositivos móviles, o como es conocida habitualmente el mobile learning (mLearning) [2,3] se ve como una herramienta muy útil para una enseñanza personalizada, casi ubicua y permanente. La utilización de los dispositivos móviles, teléfonos inteligentes (smartphones) y tabletas, también da a los estudiantes la posibilidad de participar activamente en su aprendizaje y en el diseño de su propio entorno virtual de aprendizaje, combinando diferentes recursos y permitiéndoles también un ritmo de trabajo más personalizado. Desde un punto de vista diferente, el interés de los jóvenes por las tecnologías móviles puede convertirse en una poderosa herramienta para reforzar su participación activa en las clases [4] y para aumentar su interés y compromiso en su propio aprendizaje [5].

Para los estudiantes de física, además, los dispositivos móviles pueden también convertirse en herramientas útiles para un aprendizaje experimental de la física gracias al rico conjunto de sensores que incluyen así como a sus, cada vez mayores, capacidades de cálculo [6]. Estos sensores y capacidades permiten a los alumnos usar sus smartphones como dispositivos de medida en experimentos de laboratorio o incluso en actividades cotidianas en las que los alumnos pueden fortalecer su aprendizaje observando la naturaleza por sí mismos y contrastando sus conocimientos o creencias con sus propios resultados experimentales.

Debemos tener en cuenta, también, otro aspecto de la docencia práctica en el laboratorio de física que afecta especialmente a aquellos centros docentes con un elevado número de alumnos o unos recursos económicos limitados: en general, el coste de los materiales necesarios para montar muchas prácticas de laboratorio es elevado y ese coste se multiplica si se desea tener varios ejemplos de diferentes prácticas para que todos los alumnos puedan hacer un cierto número de experimentos o para resolver los posibles fallos del material experimental. Aquí, de nuevo, los dispositivos móviles pueden jugar un

papel muy útil acercando el trabajo experimental a alumnos que en muchos casos solo podrían acceder a versiones más o menos reales de diferentes experimentos en laboratorios virtuales o en laboratorios remotos.

Por supuesto el uso de los smartphones como dispositivos experimentales en física requiere que los docentes sean especialmente cuidadosos vigilando la exactitud de los sensores de los teléfonos que se usan y su adecuación al experimento que se desea realizar. El mismo cuidado se debe tener con las aplicaciones móviles (apps) que se utilizan para acceder a los datos medidos por los sensores y la adecuación de las mismas a un entorno docente, como por ejemplo con su uso correcto de unidades físicas. Por último, los docentes deben diseñar cuidadosamente los posibles experimentos de manera que el aprendizaje no se vea lastrado por dificultades técnicas o de interpretación de los datos aportados por el smartphone.

En la bibliografía se encuentran muchos trabajos recientes sobre experimentos docentes de física realizados con smartphones y que cubren diferentes ramas de la física. Muchos de estos trabajos aparecen publicados en revistas como *The Physics Teacher*, *Physics Education*, *American Journal of Physics* o *European Journal of Physics*. Citando solo algunos trabajos interesantes vemos artículos recientes sobre el uso de smartphones en experimentos de acústica [7, 8, 9], astrofísica [10], física de la atmósfera [11], física atómica [12, 13], magnetismo [14], mecánica [15, 16, 17, 18, 19, 20] u óptica [21, 22].

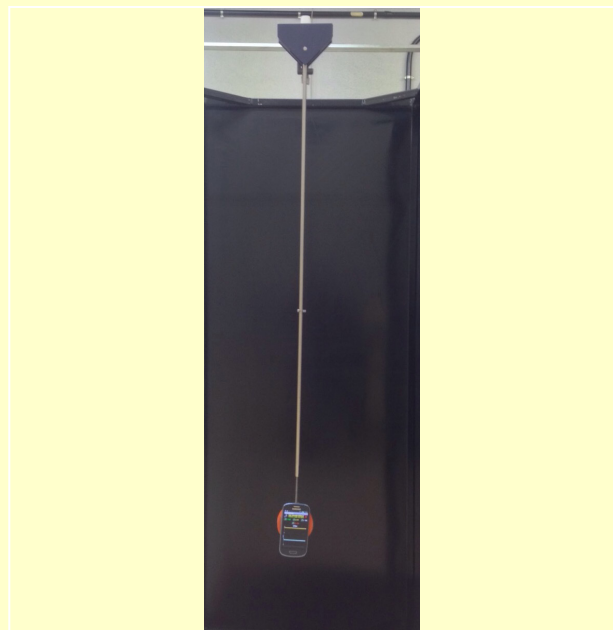
Pero, también desde un punto de vista de ahorro presupuestario, el uso de los sensores de los smartphones permite sustituir material caro de laboratorio por smartphones, bien usando directamente los mismos [7, 23, 24, 25] o bien construyendo algunos circuitos electrónicos simples (y baratos) conectados al smartphone, que actúa como controlador y recolector de datos mediante su conector de auriculares [26, 27, 28]. Estos laboratorios de bajo coste no solo beneficiarían a las instituciones con presupuestos más limitados, sino que también constituyen una oportunidad para diseñar e implementar nuevos métodos de enseñanza que atraigan a los alumnos [29].

Como consecuencia de esta expansión en el número de trabajos sobre experimentos docentes de física realizados con smartphones, algunos profesores han comenzado también a cuestionarse acerca de los efectos del uso de los smartphones en la enseñanza de la física [30]. Por ejemplo, un trabajo muy interesante desarrollado en el marco del aprendizaje

basado en el contexto estudia los efectos del uso de los smartphones sobre la motivación de los estudiantes de física [31]. Según ese trabajo, la conexión entre la herramienta experimental, el smartphone, con la vida diaria de los estudiantes tiene una influencia positiva en la motivación de los estudiantes. Además, otros trabajos recientes, aún no concluyentes debido a su limitado alcance, han mostrado también que el uso de los smartphones posee resultados positivos en el aprendizaje de los estudiantes tanto de secundaria [32] como de universidad [33].

## Algunos ejemplos

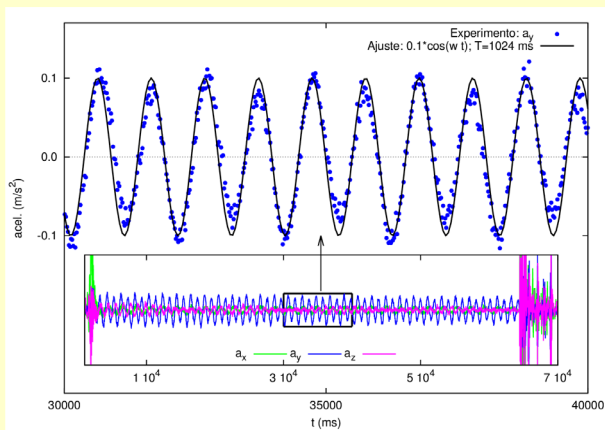
Describimos aquí algunos ejemplos sencillos que pueden realizarse, tanto en el laboratorio como en actividades cotidianas, para estudiar diferentes conceptos de física. Como ejemplo de medidas realizadas usando un smartphone (para estos ejemplos en concreto se utilizó un Samsung S4) en experimentos similares a las que se pueden realizar en un laboratorio tradicional mostramos aquí tres casos correspondientes a mecánica, vibraciones y propiedades de los materiales.



**Fig. 1a.** Péndulo con el smartphone registrando las variaciones de aceleración a lo largo de los tres ejes, X, Y, Z, simultáneamente

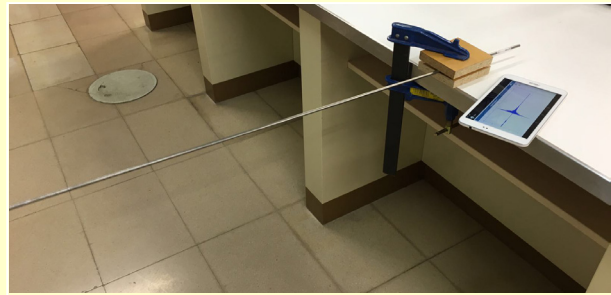
El ejemplo más sencillo corresponde al estudio de las oscilaciones de un péndulo simple al que se ha unido un smartphone. Este experimento se puede realizar de un modo fácil introduciendo el smartphone en una bolsa a la que se une el hilo que permite la oscilación. En nuestro caso el teléfono se adhirió a

una pieza metálica unida a una barra metálica de masa mucho menor, como se ve en las figuras 1a y 1b. En esa misma figura los resultados de un experimento y el ajuste de los datos experimentales a una función armónica. Como se ve en la figura 1b, el ajuste es suficientemente bueno como para permitir obtener con suficiente exactitud el periodo de oscilación y la aceleración de la gravedad a partir de los datos obtenidos con el Smartphone.



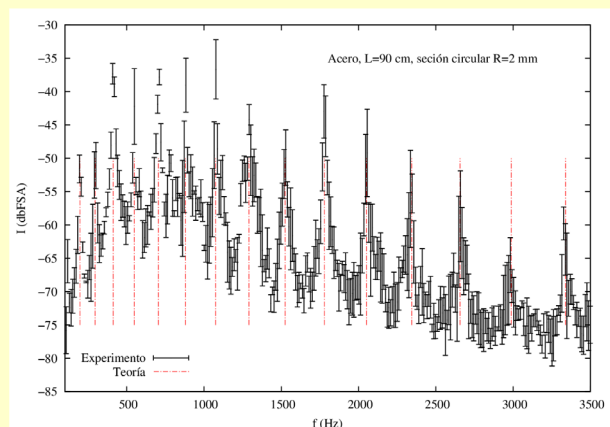
**Fig. 1b.** Resultado de las medidas. En la parte de abajo se ve la secuencia completa de la medida, incluyendo los instantes de liberación y de parada del péndulo, para las tres componentes. En la parte superior se muestra solamente la componente Y de la aceleración junto con un ajuste a partir del cual se obtiene la frecuencia de oscilación y el valor de la aceleración de la gravedad.

El segundo ejemplo corresponde a la medida de las frecuencias de vibración de varillas de diferentes materiales y secciones. En nuestro experimento usamos varillas de sección circular o cuadrada y de diferentes aleaciones de acero, de aluminio y de cobre. Basta con tener una galga que sujete un extremo de la varilla a una mesa y hacer vibrar la varilla desplazando su extremo libre y posteriormente liberándolo para que comience la oscilación. Un smartphone, con una aplicación adecuada (nosotros usamos AudiA, desarrollada por nuestro grupo) registra el sonido y hace la transformada de Fourier (TdF) del mismo para determinar las frecuencias de vibración. Este cálculo no representa ningún problema para un smartphone actual y lo hace prácticamente 'en vivo'. Los datos de la TdF se guardan en un archivo en formato csv para analizarlo posteriormente en un ordenador, básicamente por la mayor comodidad de trabajo con el mismo. Una foto del montaje experimental simple se muestra en la figura 2, junto con el dispositivo móvil recogiendo el sonido de la vibración de la varilla.



**Fig. 2.** Montaje experimental necesario para estudiar los modos de vibración (transversal) de una varilla usando un dispositivo móvil para grabar el sonido y hacer la transformada de Fourier.

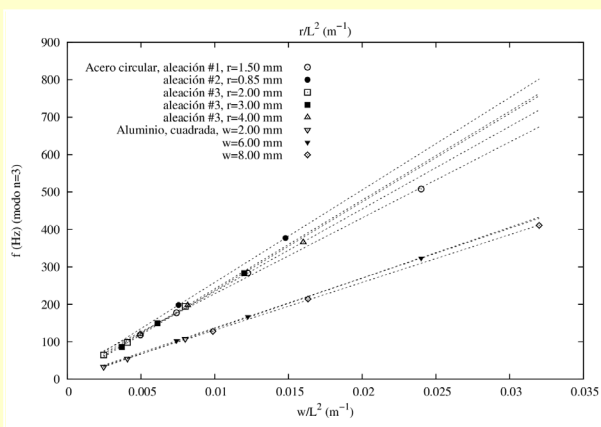
Si la varilla está bien caracterizada, tanto en longitud de vibración y diámetro (o lado) como, muy importante, la aleación del material, el acuerdo de los datos registrados con los cálculos teóricos es bueno, como se puede ver en la figura 3. En dicha figura se compara las frecuencias de vibración promedio de tres medidas independientes (con las barras de error correspondientes) con los valores teóricos calculados a partir de los datos conocidos de la varilla.



**Fig. 3.** Comparación de las frecuencias de vibración obtenidas por el smartphone (en negro) con las frecuencias teóricas obtenidas a partir de las características de la varilla. Tanto la medida del sonido como el cálculo de la transformada de Fourier fueron realizados con el smartphone en este experimento.

Si la aleación de la varilla no se conoce con exactitud entonces ni su densidad ni su módulo de Young se podrán tener con precisión. Como consecuencia la velocidad del sonido en la varilla poseerá una indeterminación que impedirá una comparación tan exitosa como la mostrada en la figura 3, al depender las frecuencias teóricas de dicho valor. Sin embargo, este inconveniente puede transformarse en una ventaja docente si se pide a los alumnos que analicen las dependencias de las frecuencias obtenidas con las

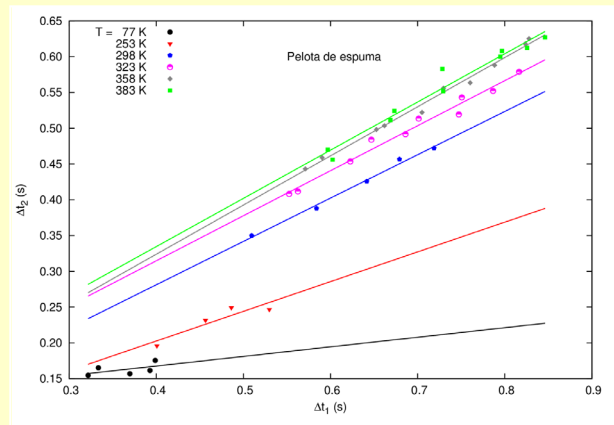
longitudes de vibración de las varillas o con su radio (o lado). Un análisis de ese tipo se muestra en la figura 4 a modo de ejemplo. Las dependencias que se obtendrían en dichas comparaciones permitirían a los alumnos determinar cómo varía la frecuencia de vibración en función de diferentes parámetros, de manera que podrían servirles como un trabajo 'de investigación' fácil de realizar y utilizando elementos baratos y a su alcance. Como se ve en la figura 4, debido a las diferentes aleaciones de acero usadas las pendientes correspondientes a esas varillas muestran un abanico de valores. Para el caso del aluminio, sin embargo, las varillas usadas eran de la misma aleación y las pendientes son más similares. En todo caso, como resultado adicional, los alumnos pueden obtener directamente la relación entre las velocidades del sonido en el acero y en el aluminio haciendo simplemente el cociente de las pendientes obtenidas en esta gráfica para ambos materiales. Más detalles sobre este ejemplo pueden verse en la referencia [9].



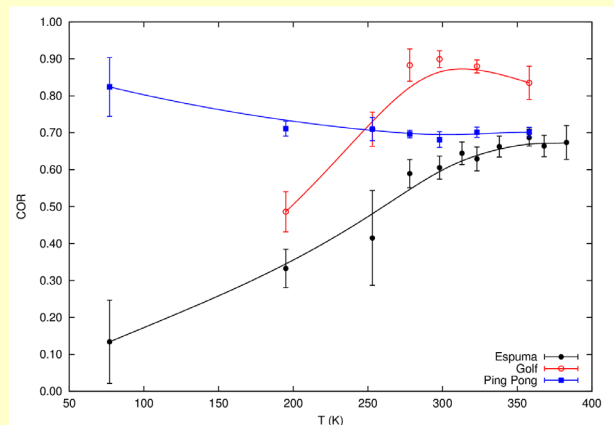
**Fig. 4** Dependencia de la frecuencia del tercer modo registrado en función de la relación entre el radio (o lado) de la varilla y su longitud de vibración. Se observa, como corresponde a la teoría, una dependencia lineal de la frecuencia con el cociente  $(r/L^2)$

El último ejemplo que mostramos aquí muestra cómo un smartphone también puede usarse para estudiar el comportamiento de diferentes materiales. Este experimento permite medir el coeficiente de restitución, COR, de diferentes materiales mediante la relación entre duraciones de rebotes consecutivos de un objeto que se deja caer. En nuestro caso hemos usado tres pelotas, de espuma, ping-pong y golf respectivamente. Para proponer un experimento más interesante a los alumnos se puede proponer que se haga un estudio de la variación del COR de cada material en función de la temperatura. Para obtener el COR a cada temperatura se puede proponer a los alumnos que dejen caer cada bola desde diferentes alturas y obtengan el COR buscado

como la pendiente de la recta que se obtiene representando el tiempo del segundo rebote respecto del primero, tal y como se muestra en la figura 5.



**Fig. 5.** Determinación del coeficiente de restitución de una pelota de espuma a diferentes temperaturas. Para cada temperatura dicho coeficiente corresponde con la pendiente del ajuste  $\Delta t_2 - \Delta t_1$ .



**Fig. 6.** Dependencia con la temperatura del COR de los materiales que componen tres tipos de pelotas, espuma, golf y ping-pong obtenidas mediante el experimento con el smartphone.

Una vez que se han realizado las medidas a diferentes temperaturas los estudiantes pueden comparar las dependencias con la temperatura de los diferentes materiales, tal y como se hace en la

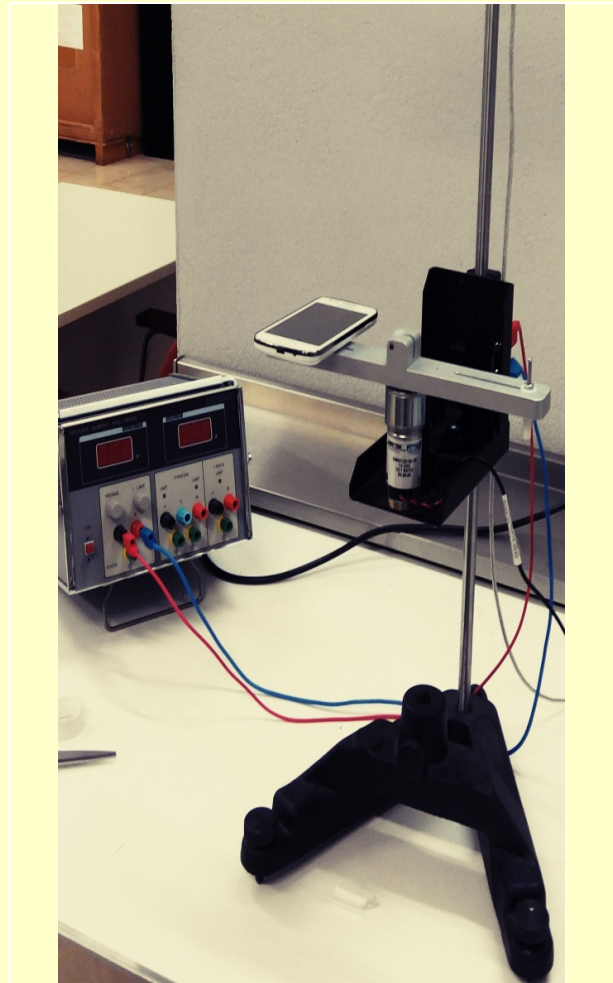
figura 6. Más detalles sobre este experimento pueden consultarse en [34].

De nuevo, como se comentó al respecto del experimento anterior, los estudiantes pueden realizar un experimento sencillo haciendo uso únicamente de su smartphone y que les permite estudiar diferentes conceptos físicos como conservación de la energía, movimiento acelerado o elasticidad.

### Trabajos con alumnos de Enseñanza Secundaria

A lo largo de los últimos dos años hemos participado en el programa de Bachillerato de Excelencia tutorando diversos proyectos de los estudiantes. En esta sección mostraremos algunos de los trabajos realizados por ellos.

El método de trabajo con los estudiantes del Bachillerato de Excelencia ha incluido trabajo tanto en el laboratorio docente en el laboratorio de Física de la E.I. Industriales, como trabajo a lo largo de actividades cotidianas de los estudiantes. En el laboratorio de física los alumnos de 2º de bachillerato realizaron algunas prácticas que se encuentran en la mayoría de los laboratorios de física de primer curso de carreras de ciencias o ingeniería: carril de aire para estudiar el movimiento uniforme, el uniformemente acelerado o choques entre dos cuerpos, estudio de un péndulo para determinar su periodo de oscilación y la aceleración de la gravedad, dependencia de la aceleración centrípeta con la velocidad angular y el radio de giro,... La única diferencia respecto al método 'habitual' de realizar estas prácticas es que estos alumnos utilizaron sus smartphones para realizar las medidas físicas relevantes, tal y como se ve en la Figura 7. De este modo los alumnos aprendieron la importancia del cuidado y la exactitud en el experimento para obtener resultados correctos, entendieron el funcionamiento de los sensores disponibles en sus teléfonos, adquirieron experiencia usando alguna app que les permitiera extraer los datos adquiridos y también aprendieron a tratarlos de un modo sencillo importando dichos datos en una hoja de cálculo con la que podían hacer gráficas, ajustes, e incluso integrales numéricas de un modo sencillo.



**Fig.7.** Medida de la aceleración centrípeta y la velocidad de giro usando el acelerómetro y el giróscopo de un smartphone en el laboratorio [35].

La segunda parte del trabajo con los alumnos del Bachillerato de Excelencia era más interesante desde el punto de vista de la enseñanza. En esta parte se suministraba a los alumnos bibliografía sencilla, principalmente extraída de *The Physics Teacher*. Estos artículos breves describían algunos ejemplos de uso de los smartphones en actividades cotidianas y les mostraban situaciones que ellos mismos conocían para que vieran cómo se podía usar el smartphone fuera del laboratorio. Posteriormente se discutían esos artículos con los alumnos y se les animaba a pensar por su cuenta posibles experimentos que pudieran diseñar, realizar y analizar por sí mismos, teniendo en cuenta que eran alumnos de segundo de bachillerato. Entre los trabajos que pensaron y realizaron estos alumnos usando smartphones figuran, por ejemplo, estudio del coeficiente de rozamiento entre diferentes superficies, estudio del movimiento de rotación y de la aceleración en un tiovivo, medida de frecuencias de oscilación en un columpio y determinación de la

aceleración de la gravedad, medida de la velocidad del sonido en el aire, determinación de la curvatura de diferentes trayectorias a partir del movimiento de un vehículo o estudio del movimiento parabólico

usando la cámara de vídeo del teléfono. La figura 8 muestra algunos de estos experimentos realizados por los estudiantes del bachillerato de excelencia.



**Fig. 8.** Ejemplos de experimentos realizados por los alumnos de bachillerato usando sus smartphones: Medida del coeficiente de rozamiento de varias superficies a partir de la aceleración de caída, determinación de la velocidad de giro y aceleración centrípeta en un tiovivo y estudio del movimiento parabólico de un cuerpo mediante grabaciones con la cámara del smartphone [35,36,37,38].

## Conclusiones

Hemos visto cómo las capacidades de cálculo y el conjunto de sensores que incluyen los actuales smartphones permiten que sean usados como unas herramientas experimentales útiles tanto en un laboratorio docente como en actividades cotidianas para aprender física. Evidentemente, esto constituye una oportunidad para reducir costes en laboratorios tradicionales en los que se realicen prácticas del tipo de las descritas, sustituyéndose materiales más caros por los smartphones que poseen todos los alumnos. De igual manera, los smartphones permiten que los alumnos observen y midan muchos fenómenos por ellos mismos, dando pie a que comprendan que puedan aprender física simplemente observando el mundo que les rodea. Además, estos dispositivos permiten diseñar prácticas con diferente dificultad que se adecúen al nivel de los estudiantes que trabajan con ellas. A partir de nuestra experiencia con los alumnos hemos visto que el uso de los smartphones incrementa su trabajo autónomo y mejora su motivación y compromiso. En este sentido, el uso de los dispositivos móviles abre la posibilidad de usar técnicas de enseñanza en las cuales el alumno juegue un papel mucho más activo. Evidentemente hay un trabajo muy importante por hacer. Se debe estudiar en grupos amplios de estudiantes cuánto aprenden, cuánto retienen de lo aprendido, cuánto aumenta su motivación y cómo afecta esto a su aprendizaje y rendimiento. Y, por supuesto, se deben analizar las diferencias que

puede haber entre diferentes niveles, por ejemplo enseñanzas medias y universitarias. Para un estudio que permita analizar todos estos factores, se necesita, evidentemente, un conjunto suficiente de datos con estudiantes de diferentes niveles que se podrá ir realizando gracias a colaboraciones con diferentes centros docentes.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo concedido por la Universidad de Valladolid gracias a los Proyectos de Innovación Docente PID2014\_92, PID2015\_128 y PID2015\_129

## Referencias

- [1] Vavoula G. and Karagiannidis C. 2005, Designing mobile learning experiences. In *Advances in Informatics*. Springer Berlin Heidelberg (2005), pp. 534-544.
- [2] Caudill. J., The growth of m-learning and the growth of mobile computing: Parallel developments. *International Review of Research in Open and Distance Learning*, 8 (2007), 1-13.

- [3] Keegan D., The future of learning: From eLearning to mLearning, Technical Report FernUniversität, Hagen, Germany, (2002) ISSN-1435-9340.
- [4] Markett, C., Arnedillo Sánchez I., Weber S. and Tangney B. Using short message service to encourage interactivity in the classroom. *Computers & Education* 46, no. 3 (2006), 280-293.
- [5] Liu, T. C., Wang H. Y., Liang J.K., Tak-Wai C., Ko H.W. and Yang J.C., Wireless and mobile technologies to enhance teaching and learning. *Journal of Computer Assisted Learning* 19, no. 3 (2003), 371-382.
- [6] Kuhn, J., & Vogt, P. Applications and examples of experiments with mobile phones and smartphones in physics lessons. *Frontiers in Sensors*, 1(4) (2013) 67-73.
- [7] Kuhn, J., & Vogt, P. Analyzing acoustic phenomena with a smartphone microphone. *The Physics Teacher*, 51(2) (2013), 118-119.
- [8] Parolin, S. O., & Pezzi, G. Smartphone-aided measurements of the speed of sound in different gaseous mixtures. *The Physics Teacher*, 51(8) 2013, 508-509.
- [9] González, M. Á., & González, M. Á. Smartphones as experimental tools to measure acoustical and mechanical properties of vibrating rods. *European Journal of Physics*, 37(4) 2016, 045701.
- [10] Whiteson, D., Mulhearn, M., Shimmin, C., Brodie, K., & Burns, D. Observing Ultra-High Energy Cosmic Rays with Smartphones. arXiv preprint arXiv:1410.2895 (2015).
- [11] Monteiro, M., Vogt, P., Stari, C., Cabeza, C., & Marti, A. C. Exploring the atmosphere using smartphones. arXiv preprint arXiv:1512.01511 (2105).
- [12] Gröber, S., Molz, A., & Kuhn, J. Using smartphones and tablet PCs for  $\beta$ -spectroscopy in an educational experimental setup. *European Journal of Physics*, 35(6) (2014) 065001.
- [13] Kuhn, J., Molz, A., Gröber, S., & Frübis, J. iRadioactivity—Possibilities and Limitations for Using Smartphones and Tablet PCs as Radioactive Counters. *The Physics Teacher*, 52(6) (2014) 351-356.
- [14] Silva, N. Magnetic field sensor. *The Physics Teacher*, 50(6) (2012) 372-373.
- [15] Kuhn, J., & Vogt, P. Analyzing spring pendulum phenomena with a smart-phone acceleration sensor. *The Physics Teacher*, 50(8) (2012) 504-505.
- [16] Monteiro, M., Cabeza, C., & Martí, A. C. Exploring phase space using smartphone acceleration and rotation sensors simultaneously. *European Journal of Physics*, 35(4) (2014) 045013.
- [17] Vogt, P., & Kuhn, J. Analyzing collision processes with the smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher*, 52(2) (2014) 118-119.
- [18] Monteiro, M., Cabeza, C., Marti, A. C., Vogt, P., & Kuhn, J. Angular velocity and centripetal acceleration relationship. *The Physics Teacher*, 52(5) (2014) 312-313.
- [19] Patrinoopoulos, M., & Kefalis, C. Angular velocity direct measurement and moment of inertia calculation of a rigid body using a smartphone. *The Physics Teacher*, 53(9) (2015) 564-565.
- [20] Monteiro, M., Stari, C., Cabeza, C., & Marti, A. C. The Atwood machine revisited using smartphones. *The Physics Teacher*, 53(6) (2015) 373-374.
- [21] Kuhn, J., & Vogt, P. Diffraction experiments with infrared remote controls. *The Physics Teacher*, 50(2) (2012) 118-119.
- [22] Yu, H., Tan, Y., & Cunningham, B. T. Smartphone fluorescence spectroscopy. *Analytical chemistry*, 86(17) (2014) 8805-8813.
- [23] Castro-Palacio, J. C., Velázquez-Abad, L., Giménez, F., & Monsoriu, J. A. A quantitative analysis of coupled oscillations using mobile accelerometer sensors. *European Journal of Physics*, 34 (2013) 737-744.
- [24] Sans, J. A., Pereira, A. L. J., Gomez-Tejedor, J. A., & Monsoriu, J. A. Oscillations studied with the smartphone ambient light sensor. *European Journal of Physics*, 34(6) (2013) 1349-1354.

- [25] Vogt, P., & Kuhn, J. (2012). Analyzing simple pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher*, 50(7) (2012) 439-440.
- [26] Forinash, K., & Wisman, R. F. Smartphones as portable oscilloscopes for physics labs. *The Physics Teacher*, 50(4) (2012) 242-243.
- [27] Forinash, K., & Wisman, R. F. Smartphones—Experiments with an external thermistor circuit. *The Physics Teacher*, 50(9) (2012) 566-567.
- [28] Forinash, K., & Wisman, R. F. Photogate Timing with a Smartphone. *The Physics Teacher*, 53(4) (2015) 234-235.
- [29] Zavrel, E., & Sharpsteen, E. (2015). Introducing Filters and Amplifiers Using a Two-Channel Light Organ. *The Physics Teacher*, 53(8) (2015) 478-481.
- [30] Marciel, T. Smartphones in the Classroom Help Students See Inside the Black Box. *APS News*, 24, (2015) 4.
- [31] Kuhn, J. & Müller A. iMobilePhysics: Possibilities and Limits of Using Smartphone and Tablet-PC as Experimental Tools. MPTL 2015, Invited Symposium iMP, contribution A41 (2015).
- [32] Kuhn, J., & Vogt, P. Smartphone & Co. in physics education—Effects of learning with new media experimental tools in acoustics. *Multidisciplinary research on teaching and learning* (Palgrave Macmillan, Basingstoke, UK), (2015) 253-269.
- [33] Klein, P., Kuhn, J., Müller, A., & Gröber, S. Video analysis exercises in regular introductory mechanics physics courses: Effects of conventional methods and possibilities of mobile devices. *Multidisciplinary Research on Teaching and Learning* (Palgrave Macmillan, Basingstoke, UK), (2015) 270-288.
- [34] González M.Á. & González M. Á. Study of the behaviour with temperature of different materials using a smartphone. (enviado a publicar a EJP).
- [35] Prieto V. & Díez A. Uso de smartphones en un laboratorio de prácticas de física. Trabajo de investigación de Bachillerato de Excelencia. I.E.S. Andrés de Laguna, Segovia (2015).
- [36] Martínez, P. & Aznar, J. Uso de smartphones en los laboratorios de física. Trabajo de investigación de Bachillerato de Excelencia. I.E.S. Andrés de Laguna, Segovia (2015).
- [37] De los Mozos, D. Uso de smartphones en el laboratorio de física. Trabajo de investigación de Bachillerato de Excelencia. I.E.S. Diego de Praves, Valladolid (2015).
- [38] de Mercado, D. Smartphones para el aprendizaje de física. Trabajo de investigación de Bachillerato de Excelencia. I.E.S. Andrés de Laguna, Segovia (2016).