

Uso de smartphones en experimentos de Física en el laboratorio y fuera de él

Miguel Ángel González¹, Manuel Ángel González²

¹Departamento de Física la Materia Condensada, Escuela de Ingenierías Industriales, Paseo del Cauce s/n 47011, Universidad de Valladolid, mrebollo@ei.uva.es.

²Departamento de Física de Aplicada, Escuela de Ingeniería Informática Universidad de Valladolid, manuelgd@termo.uva.es

Resumen

La incorporación de sensores en los dispositivos móviles permite su uso como herramientas experimentales para la realización de prácticas de física tanto en los laboratorios tradicionales como fuera de ellos. Nuestro grupo de innovación docente trabaja en el desarrollo de aplicaciones móviles y en el diseño de experimentos para la docencia de la física. Estas aplicaciones se han usado con alumnos tanto en laboratorios como fuera de ellos. Estos experimentos realizados por los alumnos con sus propios teléfonos les permiten confrontar sus conocimientos con los resultados de sus medidas, aprendiendo física con la observación de su entorno. Nuestros resultados muestran que el uso de los dispositivos móviles incrementa el interés por la física, facilita su comprensión conceptual y aumenta el trabajo autónomo.

Palabras clave: Sensores, smartphones, física, experiencias, asignaturas STEM

Abstract

The sensors contained in current mobile devices allow us to use them as experimental tools to do simple teaching physics experiment both in the teaching laboratories and outside them. Our learning innovation group works on the development of mobile applications and on the design of simple experiments to help physics learning. These applications have been used in experiments performed in the teaching laboratories as well as along students' everyday activities. The experiments performed by the students using their own smartphones allow them to confront their knowledge with the results of their own measurements, and, then, help them to learn physics by observing their environment. Our results show that the use of mobile devices increases the students' interest on physics, eases their conceptual understanding and increases their autonomous work.

Key words: Sensors, smartphones, physics, experiences, STEM education

Introducción

En un reciente informe¹ de la National Science Board² organismo cuyos miembros son nombrados por el presidente de los USA y que tienen como cometido asesorar en sus políticas a la National Science Foundation³, además de asesorar como órgano independiente en materia de ciencia, ingeniería y educación al propio presidente y al congreso, se citaba textualmente “To ensure continued U.S. competitiveness and prosperity, our Nation must foster a strong, STEM-capable workforce”. Bajo las siglas STEM⁴ (Science, Engineering, Technology and Mathematics) se agrupa todo lo que

1 [en línea], disponible en: www.nsf.gov/pubs/2015/nsb201510/nsb201510.pdf -2015 [consultado el 20/5/2016].

2 [en línea], disponible en: www.nsf.gov/nsb/ [consultado el 20/5/2016].

3 [en línea], disponible en: www.nsf.gov/ [consultado el 20/5/2016].

4 [en línea], disponible en: www.stemedcoalition.org [consultado el 20/5/2016].

tiene que ver con el curso de estas disciplinas desde su enseñanza y difusión hasta su aplicación en la industria o la investigación.

A partir de los datos recopilados por el U.S. Bureau of Labor Statistics (BLS), Dennis Vilorio⁵ afirma que los empleos relacionados con STEM crecerán en 9 millones entre 2012 y 2020. Por su parte, Jones⁶, economista del BLS, asegura que el sector laboral relacionado con STEM ocupa a más de 1 de cada 10 empleos en los USA y que los salarios en este sector son aproximadamente el doble del salario medio en los USA.

Por estas razones en los USA, entre otras, se ha hecho un esfuerzo considerable, principalmente en esta última década, para potenciar la enseñanza de estas materias. Tanto es así que incluso ha dado lugar a que algunos autores se cuestionen en este momento el mantenimiento continuado de ese apoyo con la misma intensidad⁷. Pese a ello las conclusiones señalan que la política más acertada es continuar en ese camino introduciendo los cambios adecuados fruto de la experiencia adquirida.

En cualquier caso, en Europa, y en particular en España, aún queda mucho trecho por recorrer y el riesgo de no avanzar en esa dirección es muy considerable. En efecto, es evidente que la omnipresencia en la actual sociedad de la tecnología y su creciente y estrecha relación con la economía, en el complejo ecosistema de innovación y competitividad global característica del siglo XXI, ha hecho que una adecuada formación en esas materias se convierta en un factor crítico para mantener una economía próspera y sostenible.

Parece que existe cada vez un mayor consenso en considerar el aprendizaje basado en proyectos (ABP o PBL) como una de las metodologías más adecuadas para la formación en materias STEM^{8,9}. En esta metodología el aprendizaje práctico, conocido usualmente como *learning by doing* con la terminología inglesa¹⁰, tiene un gran peso y por ello todas las actividades que se realizan tanto en ambientes formales (laboratorios tradicionales) como en informales (entornos cotidianos de los estudiantes) cobran una gran importancia. En este contexto y siendo la física siendo una disciplina plenamente integrada dentro de la clasificación de STEM, los trabajos prácticos resultan claves para una provechosa asimilación de esta materia. Sin embargo, en muchas ocasiones el coste

5 VILORIO, D. (2014). STEM 101: Intro to tomorrow's jobs. *Occupational Outlook Quarterly*, 58(1), 2-12.

6 Jones, J. I. (2014) An overview of employment and wages in science, technology, engineering, and math (STEM) groups. *Occupations*, 534(20,370), 300-180 [en línea], disponible en: <http://www.bls.gov/opub/btn/volume-3/an-overview-of-employment.htm> [consultado el 20/5/2016].

7 Xue, Y., y Larson, R. C. (2015). STEM Crisis or STEM Surplus: Yes and Yes. *Monthly Lab. Rev.*, 138, 1. [en línea], disponible en: <http://www.bls.gov/opub/mlr/2015/article/stem-crisis-or-stem-surplus-yes-and-yes.htm> [consultado el 20/5/2016].

8 Laboy-Rush, D. (2011). Integrated STEM education through project-based learning, [en línea], disponible en <http://www.rondout.k12.ny.us/common/pages/DisplayFile.aspx?itemId=16466975>. [consultado el 21/5/2016].

9 Capraro, R. M., Capraro, M. M., & Morgan, J. R. (2013). STEM project-based learning. Rotterdam: SensePublishers. Doi, 10(1007), 978-94. [en línea], disponible en <https://www.sensepublishers.com/media/1522-stem-project-based-learning.pdf> [consultado el 21/5/2016].

10 Problem based learning, en *Speaking of Teaching* vol. 11 (2001) (Stanford University) [en línea], disponible en http://web.stanford.edu/dept/CTL/cgi-bin/docs/newsletter/problem_based_learning.pdf [consultado el 21/5/2016]

de los equipos de medida impide disponer del material necesario para la realización de las experiencias necesarias para facilitar el aprendizaje de esta disciplina. Últimamente, sin embargo, el desarrollo de la microelectrónica ha permitido fabricar sensores muy económicos, MEMS (Microelectromechanical Systems)¹¹ que pueden utilizarse como dispositivos de adquisición de datos físicos fácilmente usables en experiencias docentes. Para ello, una técnica habitual consiste en construir circuitos sencillos con los sensores MEMS controlados mediante dispositivos Arduino, Raspberry o similares, que faciliten su control y el acceso a los datos adquiridos por dichos sensores. Pero aún hay una solución más fácil que permite utilizar los MEMS de un modo sencillo a cualquier usuario incluso sin los conocimientos o el tiempo requerido para construir los circuitos necesarios. Muchos de estos MEMS están incluidos en smartphones y tabletas, así como en los dispositivos de más reciente aparición denominados wearables, como relojes, gafas, brazaletes, etc¹². Estos dispositivos cuentan con MEMS como acelerómetros, giróscopos, magnetómetros, micrófonos,..., que pueden utilizarse para diseñar diferentes experimentos docentes^{13,14} con un coste muy razonable. Además su amplia difusión entre los estudiantes permite su utilización en cualquier lugar y en cualquier momento con un material que los estudiantes llevan habitualmente en sus bolsillos, en línea con el método conocido como “*Bring Your Own Device – BYOD*”¹⁵, lo que facilita que se puedan hacer experimentos tanto en los laboratorios como fuera de ellos aprovechando situaciones cotidianas de los alumnos¹⁶, posibilitando así la conexión entre lo expuesto en el aula y lo observado fuera de ella^{17,18}, a la vez que se aprovechan las habilidades y competencias implícitas (escondidas), de los estudiantes.

Objetivos y Desarrollo

El proyecto desarrollado se enmarca en el contexto del programa del Bachillerato de Excelencia (BE)¹⁹ que la Junta de Castilla y León ha puesto en marcha.

11 MEMS (2016) [en línea] disponible en <https://www.mems-exchange.org/MEMS/what-is.html> [consultado el 21/5/2016].

12 Wearables (2016) [en línea] disponible en <http://www.wearables.com/> [consultado el 21/5/2016].

13 COUNTRYMAN, C. L. (2014), Familiarizing Students with the Basics of a Smartphone's Internal Sensors. *The Physics Teacher*, 52(9), pp 557-559.

14 MONTEIRO, M., CABEZA, C., MARTI, A. C. (2014), Rotational energy in a physical pendulum. *The Physics Teacher*, 52(3), 180-18.

15 Johnson, L., Adams Becker, S., Estrada, V., Freeman, A. (2015), NMC Horizon Report: 2015 Higher Education Edition. Austin, Texas: The New Media Consortium. [en línea] disponible en <http://cdn.nmc.org/media/2016-nmc-horizon-report-he-EN.pdf> [consultado el 21/5/2016]

16 PENDRILL, A. M. (2013). Student investigations of the forces in a roller coaster loop. *European Journal of Physics*, 34(6), pp 1379-1383.

17 SCHWEINGRUBER, H. A., FENICHEL, M. (2010). *Surrounded by Science: Learning Science in Informal Environments*, Washington D.C., National Academic Press.

18 Gutschank J, Richter, J.-L., Andrade M. (2014), *iStage: smartphones in science teaching* Berlin, Deutschland E.V. [en línea] disponible en http://www.science-on-stage.de/downloadunterrichtsmaterial/iStage_2_Smartphones_in_Science_Teaching.pdf [consultado el 21/5/2016].

19 [en línea] disponible en <http://www.educa.jcyl.es/es/informacion/sistema-educativo/bachillerato/bachillerato-regimen-diurno/bachillerato-investigacion-excelencia/acceso-bachillerato-investigacion-excelencia> [consultado el 21/5/2016].

En él los estudiantes de 2º de bachillerato deben realizar un trabajo de investigación asociado a alguna de las materias cursadas, propuesto por Investigadores de la Universidad. En el caso descrito en este trabajo, el proyecto consistió en la realización de experiencias de Física tanto fuera como dentro del laboratorio, empleando como instrumentos de medida los smartphones de los alumnos. Se presentan aquí los resultados obtenidos a lo largo de los cursos 2014-15 y 2015-16.

Durante el curso 2014-2015 participaron en este proyecto 5 estudiantes, 4 del IES Andrés Laguna de Segovia y 1 del IES Diego de Praves de Valladolid que se distribuyeron en 3 grupos (de 2, 2 y 1 alumno) para hacer el trabajo de investigación. En el segundo año, 2015-2016, el número de alumnos interesados en realizar trabajos de investigación en física era bastante menor al del año anterior y en este proyecto participaron únicamente 2 estudiantes del IES Andrés Laguna. A lo largo de los dos cursos la organización fue similar, comenzando con un seminario de introducción al uso de smartphones y aplicaciones móviles como herramientas de medida. Posteriormente se realizaron dos sesiones de trabajo en el laboratorio bajo supervisión de los profesores. En estas sesiones se utilizaron los smartphones como dispositivos de medida reemplazando algunos aparatos clásicos en diferentes experimentos sencillos, como por ejemplo estudio del movimiento de un péndulo simple, análisis del movimiento rectilíneo uniforme y uniformemente acelerado en un carril de aire, estudio de choques en el carril, estudio de la fuerza centrípeta, cálculo de la aceleración de la gravedad por diferentes métodos... La siguiente fase del proyecto, la más interesante sin ninguna duda, consistía en el diseño y realización de experiencias en situaciones cotidianas elegidas por los propios estudiantes. En esta fase se dejó completa libertad a los estudiantes, limitando la actividad de los tutores únicamente a la supervisión de sus avances, resolución de las dudas que se plantearan o de dificultades en la obtención e interpretación de los resultados físicos. Finalmente, los alumnos debían realizar un informe donde describían las actividades realizadas y, posteriormente, presentarlo públicamente.

Resultados

A continuación, se describen algunas de las experiencias más interesantes diseñadas y llevadas a cabo por los estudiantes. Pensamos que el trabajo realizado por todos ellos es de gran calidad, habida cuenta su edad y formación. Por ello se ha preferido no manipular los datos y se ha seguido lo más fielmente posible los resultados obtenidos por los estudiantes, reflejado en los informes finales que han presentado. La totalidad de las imágenes y gráficas son originales de los estudiantes. Por razones de limitación de espacio no se ha podido presentar los textos originales por lo que se resumido lo más importante. Sin embargo, se ha conservado una parte de la descripción de los experimentos. Para diferenciar estas partes del resto se han entrecorillado y se han utilizado las cursivas.

a. Medida del coeficiente de rozamiento de unos patines de hielo, figura 1.

El objetivo de este experimento era:

“...realizada en una pista de patinaje en Madrid, y nos sirvió para calcular el coeficiente de rozamiento del hielo. Para llevar a cabo esta experiencia, uno de los compañeros impulsó al otro, que mantenía el teléfono lo más horizontal posible, deslizándolo por uno de los bordes de la pista. Es decir, uno de los integrantes propinó un empujón al que sostenía el teléfono. El que sostenía el móvil se desplazó una distancia hasta que se paró. El objetivo de esta experiencia es determinar el coeficiente de rozamiento del hielo, con los únicos datos de la gráfica, la distancia recorrida desde

el empujón hasta que se frenó (se midió con un metro), y el peso del portador del teléfono.”

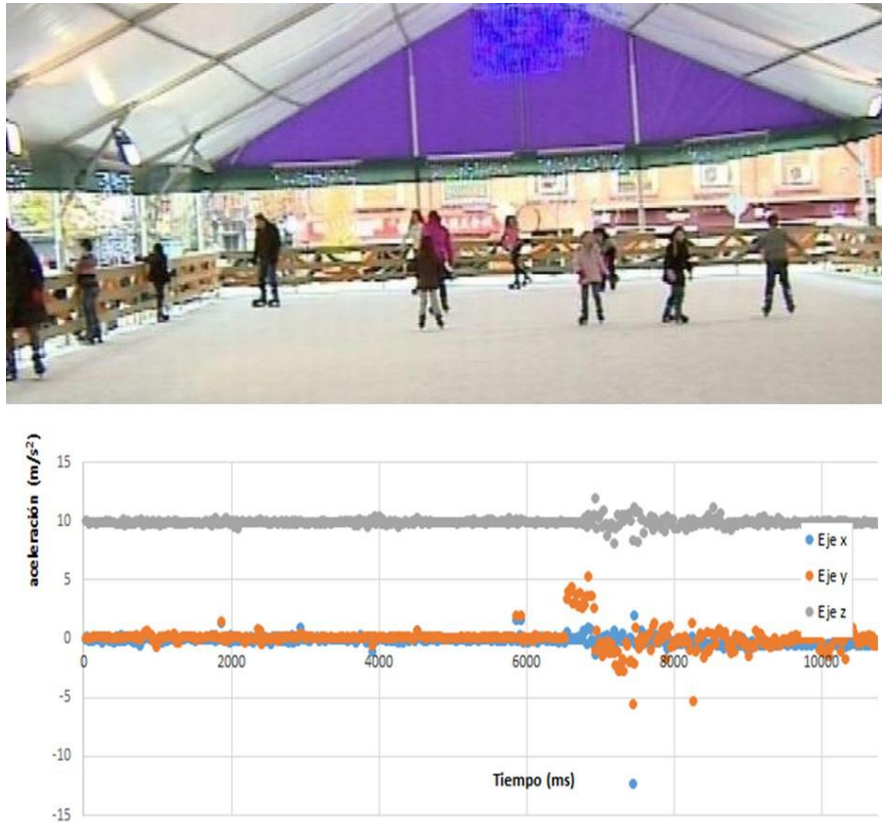


Fig.1. Fotografía de la pista de hielo y gráficas obtenidas

El resultado obtenido fue $\mu \cong 0,09$. Lo más relevante en este caso fue que los estudiantes contrastan el resultado con los que aparecen en la bibliografía, tal y como apuntan:

“Este dato es del orden de, pues en la tabla que ofrece Wikipedia [5] con los datos de coeficientes de rozamiento, aparece que el coeficiente de rozamiento del hielo con el acero es de 0,09, el mismo dato que nosotros hemos obtenido.”

b. Plano inclinado, figura 2.

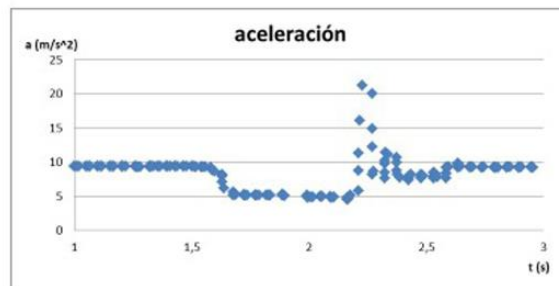


Fig.2. Izquierda: Fotografía del montaje experimental; Derecha: Valores experimentales de la aceleración

El objetivo de esta experiencia era medir el valor del coeficiente de rozamiento entre el objeto (teléfono) y la superficie del plano.

Para ello utilizaron la expresión

$$\mu = \frac{g \cdot \operatorname{sen} \alpha - a}{g \cdot \operatorname{cos} \alpha}$$

Midiendo el ángulo y la aceleración con el propio Smartphone. La realización de la experiencia es muy sencilla:

“Soltamos el teléfono que se desliza por la rampa hasta llegar al suelo. Una vez finalizado el experimento paramos la recogida de datos. Para lograr unos datos más fiables, repetimos el procedimiento varias veces y seleccionamos el que haya tenido una trayectoria más recta.”

El valor estimado del coeficiente de rozamiento es de 0,87 obtenido promediando los resultados más significativos.

c. Estudio cinemático del movimiento del AVE, figura 3.

En este caso se trataba de medir las magnitudes cinemáticas de un tren AVE a su salida de la estación:

“Colocamos el móvil en una superficie totalmente horizontal, y esperamos a que el AVE arrancara, midiendo la aceleración durante aproximadamente un minuto. Algunos segundos después, tomamos una foto de la velocidad que indicaba la pantalla del AVE, para posteriormente poder corroborar si nuestros datos eran semejantes.”

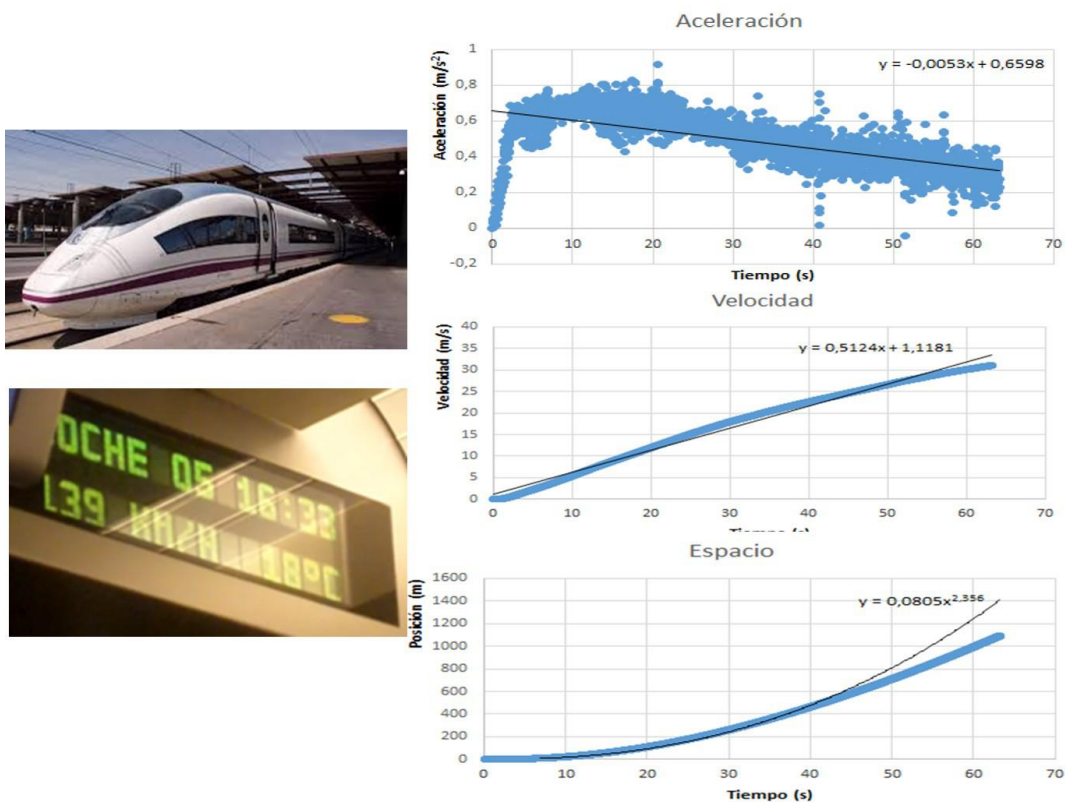


Fig. 3. Izquierda: imagen del tren Ave donde se realizaron las medidas y del panel interior donde se refleja la velocidad alcanzada por el tren; Derecha: aceleración, velocidad y espacio recorrido al salir de la estación Guiomar de Segovia.

Los cálculos los efectuaban usando la hoja de cálculo Excel y los resultados fueron los siguientes:

“Es decir, se recorren 930 metros en 61 segundos, con una aceleración media de 0,5 m/s² y se alcanza una velocidad final de 109,8 Km/h”.

Se puede constatar una diferencia de alrededor del 30% entre la velocidad medida y la que refleja la pantalla en la fotografía. Los autores se dieron cuenta de esta discrepancia una vez efectuados los cálculos y la justifican de la siguiente manera: *“Esta foto, realizada varios segundos después de la toma de datos, evidencia que los datos obtenidos son del orden de, pues hay que tener en cuenta que entre el valor obtenido (109,8 Km) y el de la foto (139 Km), han pasado bastantes segundos”.* Posiblemente la fotografía fue realizada con el mismo Smartphone empleado para hacer las medidas lo que encaja con la explicación ofrecida. En todo caso lo más importante aquí, no es la mayor o menor precisión de la medida, sino el hecho de haber realizado un análisis crítico de los resultados proponiendo una posible explicación.

d. Determinación de la velocidad del sonido

En esta experiencia se determina la velocidad del sonido en el aire mediante el análisis de las frecuencias de una nota emitida por una boquilla de clarinete conectada a un tubo de plástico. La aplicación utilizada ha sido creada por el profesor Rodrigo Santos, del IES Andrés Laguna que era el tutor designado por el centro.

“La frecuencia que genera un instrumento depende de muchos factores, pero si tenemos en cuenta una situación más sencilla, en la que sustituimos el cuerpo del instrumento por un tubo sin orificios la frecuencia depende exclusivamente de la longitud del tubo y la velocidad del sonido en el aire”, “... medimos la frecuencia que resulta con longitudes diferentes de tubos del mismo material y mismas características y calculamos la velocidad”.

La velocidad obtenida resulta de 329,47 m/s, inferior a la que aparece en las tablas a la temperatura de la experiencia (343 m/s a 20°C), de nuevo hacen un análisis crítico para justificar los resultados encontrados:

“... los fallos pueden estar en cualquier parte del procedimiento.

- *En primer lugar, puede que la medida de la longitud del tubo no sea totalmente exacta.*
- *Por otro lado, la forma de colocar la embocadura del intérprete y la presión de este influyen en la frecuencia de la nota.*
- *Por último, los instrumentos de medida no son muy exactos y tienen un margen de error”.*

e. En el parque de atracciones, figura 4.

En esta experiencia se trataba de:

“...otra de las experiencias que hicimos fue la de medir las aceleraciones en un movimiento circular uniforme, en un tiovivo de radio 4 metros. El objetivo de esta experiencia, era el de calcular la velocidad angular y lineal que llevaba la atracción. Para ello dejamos el móvil en el suelo del tiovivo donde la superficie era totalmente horizontal.”

Finalmente, los valores de la aceleración centrípeta, velocidad tangencial y angular fueron 1,1 m/s², 2,1m/s y 0,5 rad/s respectivamente.

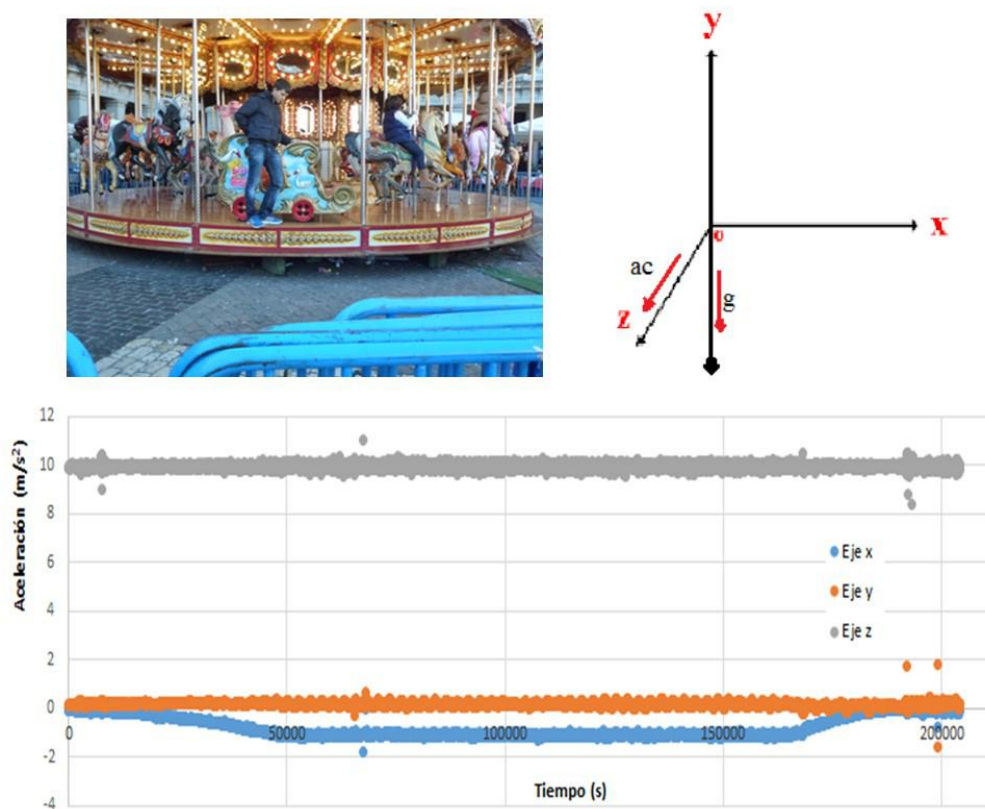


Fig.4. Superior izquierda: Imagen del tiovivo y toma de datos; Superior derecha: ejes coordenados considerados; Inferior: valores de la aceleración

f. En un ascensor, figura 5.

En esta experiencia se determina la aceleración, velocidad y distancia recorrida en un ascensor que se desplaza entre dos pisos.

El planteamiento de la experiencia es muy sencillo en este caso:

“Colocamos el teléfono en el suelo del ascensor, de manera que esté perfectamente nivelado. Ponemos en marcha la aplicación y se aprieta el botón de bajada del ascensor. Cuando se para el ascensor detenemos la aplicación.”

La determinación de la velocidad y el espacio recorrido se realiza mediante la hoja de cálculo Excel, integrándose numéricamente para obtener las áreas comprendidas entre las curvas de la aceleración y de la velocidad y el eje X, respectivamente.

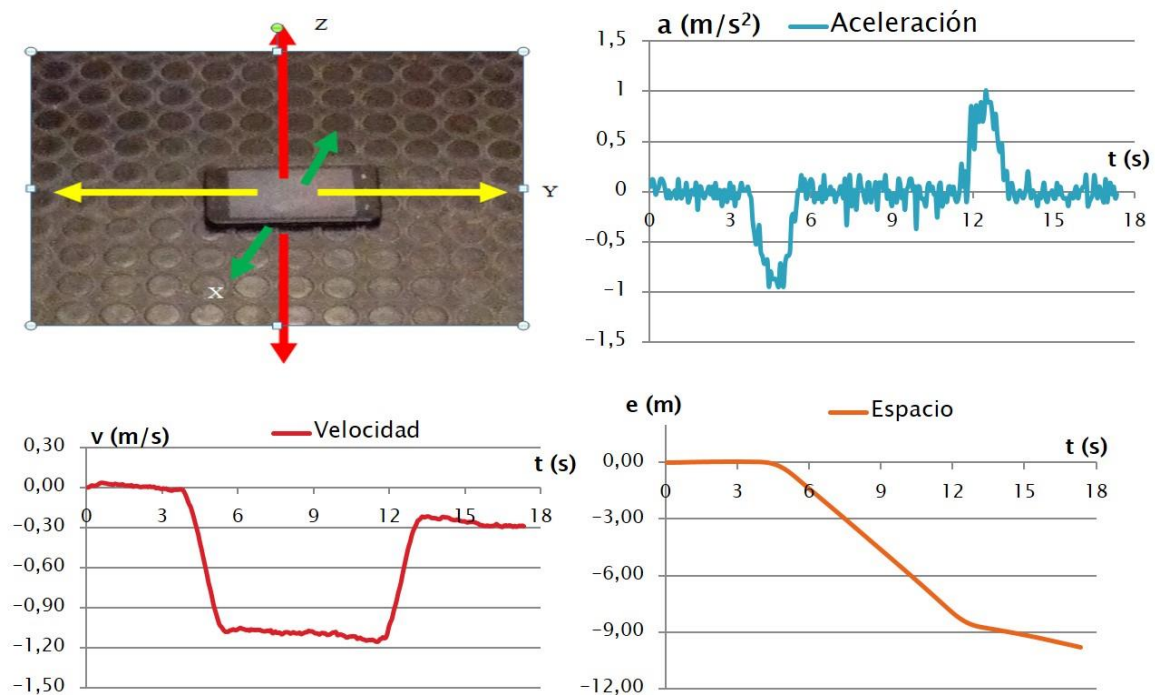


Fig.5. Superior derecha: Smartphone colocado en el suelo del ascensor listo para la toma de datos; Graficas de la aceleración, velocidad y desplazamiento respectivamente.

g. Análisis del movimiento y la trayectoria de un vehículo, figura 6.

El objetivo de la experiencia era medir los radios de curvatura de diferentes curvas de una carretera.

“Para realizar la práctica necesitaremos un dispositivo que tenga un acelerómetro, para obtener el valor de la aceleración normal (a_n), y un GPS, con el que, a partir de sus medidas de posición y del tiempo registrado por el dispositivo, obtendremos la velocidad instantánea del cuerpo que se mueve. En este caso usaremos un teléfono móvil, en el que tendremos instalada una aplicación para registrar la información del acelerómetro (hemos usado una aplicación llamada Sensor Mobile, desarrollada por la Universidad de Valladolid y que puedes descargar de forma gratuita en Google Play Store [2]).”

El valor del radio calculado es de 148,99 m, mientras que el obtenido a partir del mapa resulta ser de 134,66 m. Para justificar esta diferencia hacen un análisis de errores y de las condiciones en las que han realizado la experiencia, concluyendo que:

“Tras el análisis de todas las curvas y el cálculo de los errores cometidos consideramos que el acuerdo entre los valores obtenidos con el teléfono y medidos a partir de Google Maps es razonable, más si tenemos en cuenta los posibles factores (Velocidad del vehículo no constante, vibraciones del vehículo que provocan una gran dispersión en los datos medidos por el acelerómetro, irregularidades de la calzada, tiempo de respuesta del GPS y el hecho de que la trayectoria no sea una circunferencia perfecta) que afectarían a la medida experimental”.

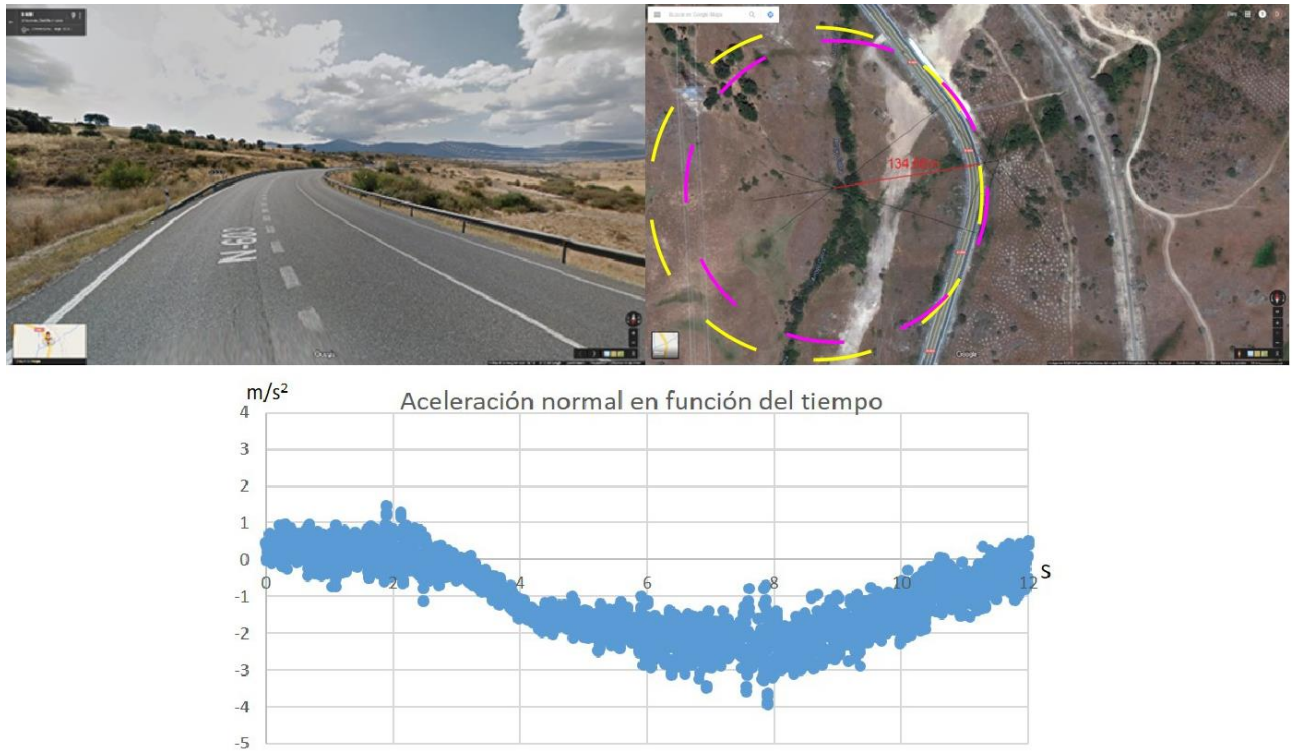


Fig.6. Superior izquierda: imagen de la carretera desde el vehículo; Superior derecha: vista aérea de la curva y radio de la misma obtenida a partir de Google Maps. Las circunferencias de color corresponden a los radios de 134,66 y 148,99 m indicadas en el texto; Inferior: valores obtenidos de la aceleración normal.

Conclusiones

La valoración y el interés del trabajo realizado resultaron muy positivos constatándose cómo la utilización de estos dispositivos facilita el aprendizaje de la física, estimula el trabajo a la vez autónomo y colaborativo, ayudando a desarrollar la creatividad de los estudiantes. El diseño de experiencias originales y la posterior interpretación de los mismos obligan a integrar diferentes disciplinas, ingeniería, tecnología y matemáticas para llevarles adelante. Como ya se ha señalado quizás lo más interesante resulte el análisis crítico, siguiendo los procedimientos que marca el método científico, que realizan los estudiantes. Hay que señalar que este análisis ha sido llevado a cabo de manera “espontánea” sin que haya sido impuesto por cualquiera de los tutores, aspecto que lo hace aún más valioso. Bien es verdad que el programa del Bachillerato de Excelencia selecciona los participantes. La observación de los fenómenos cotidianos permite integrar más eficazmente el análisis y la interpretación del pensamiento científico.

Agradecimientos

Agradecemos a Alberto del Pozo y Rodrigo Santos, profesores del I.E.S. Diego de Praves (Valladolid) y del I.E.S. Andrés de Laguna (Segovia), respectivamente, su colaboración en la tutela y supervisión de los trabajos realizados por los alumnos que participaron en este estudio.

Igualmente, agradecemos a la Universidad de Valladolid el apoyo prestado a los Proyectos de Innovación docente PID2015_128 y PID2015_129, algunos de cuyos resultados se han utilizado en este trabajo.