

Smartphone: a laboratory tool for learning

Laboratorios de ciencia de bajo costo

Salvador Gil^{1(a)} y José Luis Di Laccio^{2, 3}

1 *Escuela de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de San Martín, Campus Miguelete, San Martín Buenos Aires, Argentina.*

2 *Departamento de Física, Centro Regional de Profesores del Litoral. 50000, Salto, Uruguay.*

3 *Departamento de Física, CENUR Litoral Norte, Universidad de la República. 50000, Salto, Uruguay.*

(a) sgil@unsam.edu.ar

SUMMARY

We present a set of Mini Experimental Projects (MEP), based on active learning and learning by inquiry, which incorporate smartphones together with very low cost basic equipment, consisting of planes, pulleys, springs, supports and pendulums. The experimental arrangements make use of a smartphone associated with different applications (Apps), most of which are free access. These Apps allow the smartphone to be used to measure different physical quantities in a simple manner, analogous to traditional data acquisition systems associated to computers. Smartphones, combined with any home PC, allow students and teachers to have access to a sophisticated and modern laboratory to perform many experiments both at school, home and on the field. In this way these settings are transformed into appropriate environments for learning. The pedagogical framework proposed here, focuses on learning by inquiry and seeks to develop in students a critical thinking, promote teamwork and develop skills in scientific research and experimentation. Our intention is that the students answer the questions: how do we know this? Why do we believe in that? What evidence/experiments support our knowledge? These questions illustrate the nature of scientific thought. We think that smartphone is a useful tool to improve learning of physics and science in general, encourage vocations and help to develop problem solving skills that can be useful in various academic and working environments. In particular, we consider the following specific cases: a) kinematics, basic concepts of position, velocity, and acceleration; b) free fall; c) radioactive decay using beer foam; d) acoustic Doppler effect analysis and e) study of oscillations of a spring-mass system.

KEYWORDS: Active learning, Science experiments using smartphones.

Smartphone una herramienta de laboratorio para el aprendizaje

Laboratorios de ciencia de bajo costo

Salvador Gil^{1(a)} y José Luis Di Laccio^{2, 3}

- 1 Escuela de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de San Martín, Campus Miguelete, San Martín Buenos Aires, Argentina.
- 2 Departamento de Física, Centro Regional de Profesores del Litoral. 50000, Salto, Uruguay.
- 3 Departamento de Física, CENUR Litoral Norte, Universidad de la República. 50000, Salto, Uruguay.

(a) sgil@unsam.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo presentamos un conjunto de Mini Proyectos Experimentales (MPE), basados en el aprendizaje por inmersión o indagación, que incorporan teléfono celular inteligente (smartphones) y un equipamiento básico, de muy bajo costo, constituido por planos inclinados, poleas, resortes, soportes y péndulos. Los arreglos experimentales hacen un uso intensivo del smartphone asociado con diferentes aplicaciones (Apps), la mayoría, de uso libre. Estas Apps, permiten medir diferentes magnitudes físicas en forma simple, de modo análogo a los sistemas de adquisición de datos basados en computadoras. Los smartphones, combinados con una PC hogareña, permiten a los estudiantes y docentes disponer de laboratorios sofisticados y modernos, para realizar muchos experimentos tanto en la escuela como el hogar o el campo, transformado cualquiera de estos entornos en un medio propicio para la indagación y el aprendizaje. El encuadre pedagógico propuesto para su uso, se centra en el aprendizaje por indagación y busca desarrollar en el alumno un espíritu crítico, promover el trabajo en equipos y el desarrollo de habilidades de indagación y experimentación. Apuntamos a que los estudiantes puedan responder a las preguntas: ¿Qué fundamenta este conocimiento? ¿Qué evidencia/s experimentales tenemos sobre esto? Preguntas que ilustran la naturaleza del pensamiento científico. Entendemos que el smartphone es una herramienta útil para mejorar el aprendizaje de la física y las ciencias en general, incentivar vocaciones, a la par de desarrollar habilidades de resolución de problemas que pueden ser de gran utilidad en diversos ámbitos académicos y laborales. En particular se analizan los siguientes casos específicos: a) cinemática, conceptos básicos de posición, velocidad, y aceleración; b) estudio de la caída libre; c) decaimiento radiactivo usando la espuma de la cerveza; d) análisis del efecto Doppler Acústico y e) estudio de oscilaciones de un sistema de masa y resorte

PALABRAS CLAVES: aprendizaje por inmersión, experimentos, smartphone

1. INTRODUCCION

En muchos países en desarrollo, y en especial en Latinoamérica, existe la presunción de que el uso generalizado de laboratorios en las escuelas primarias y secundarias, es muy costoso, y dada las condiciones de estrechez económica de

nuestros países, estas actividades son “lujos” que están más allá de nuestras posibilidades. Esta presunción conduce a que muchas veces las ciencias experimentales, como la física y la química, se enseñen por transmisión oral o escrita, sin la posibilidad de manipulación de los objetos y fenómenos a los que estas disciplinas se refieren. Esta limitación genera una carencia fundamental en el aprendizaje de las ciencias, reduciéndolas a la resolución de problemas de lápiz y papel, muchas veces alejados de la realidad cotidiana, y haciendo referencia a fenómenos que los estudiantes no han vivenciado. Esto inhibe la curiosidad innata de los jóvenes y resta motivación e interés en estas disciplinas.

La irrupción de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en las últimas décadas, ha sido uno de los fenómenos culturales de mayor significación e impacto social que hayamos experimentado en mucho tiempo. Tradicionalmente, el *acceso a la información* era una de las mayores dificultades en la educación. Con el advenimiento de las TIC la información disponible es abundante y el *desafío se está transformando en la selección, integración curricular y adquisición de competencias*, para el manejo de la información. Pero lo que quizás sea igualmente valioso para la enseñanza de las ciencias, es que los smartphone, (PhoneLabs, 2016) (American Physical Society, 2016) PC, tabletas, y otros dispositivos, pueden transformarse en poderosas herramientas que facilitan la investigación de fenómenos naturales y culturales, y pueden utilizarse en las nuestras clases para realizar interesantes experimentos con distintos grados de dificultad y desafíos (Silvia Calderón, Pablo Núñez, José Luis Di Laccio, Leila Morallanni, Salvador Gil, 2015).

Es importante reconocer, sin embargo, que la inclusión de smartphones y como otras tecnologías afines no mejorará *por sí solas y en forma automática* el modo de educar a los estudiantes; ni prepararlos mejor para enfrentar los desafíos de las sociedades actuales. Por el contrario, sin un enfoque pedagógico adecuado, que solo los docentes podemos brindarles, puede ser hasta contraproducente. Por esto, es necesario apropiarse críticamente de las tecnologías que hoy tenemos a disposición y evaluar nuestras propuestas de enseñanza y aprendizaje para evitar utilizarlas como un simple juego o moda.

Entendemos que el trabajo en mini proyectos con inclusión genuina de TIC puede:

- ✚ Permitir desarrollar experimentos no solo dentro del aula sino en diferentes lugares como plazas, parques, paseos, shopping, etc. Cada uno de estos escenarios brinda a los estudiantes la posibilidad de aprender a partir de sus propias experiencias y de la experiencia colaborativa con sus pares. Los alumnos tienen la posibilidad de explorar, manipular, sugerir hipótesis, cometer errores y reconocerlos, y por lo tanto, aprender de ellos.
- ✚ Enfatizar el aprendizaje por inmersión, los procedimientos de la ciencia y el trabajo en equipos.
- ✚ Integrar en forma natural y genuina los smartphones con otras tecnologías afines y complementarias a ellos como: PC, cámaras, interfaces, etc.
- ✚ Colocar como protagonistas a los alumnos y su aprendizaje. Logrando que los estudiantes potencien su creatividad y sepan cómo aprender cosas nuevas, enfrentándose a ellas con confianza y buen criterio.

2. ENFOQUE PEDAGOGICO

Esta propuesta para el aprendizaje se basa en la realización MPE que recrean a escala reducida de tiempo las facetas de una investigación científica: delimitación del problema de estudio, generación de hipótesis, diseño de experimentos, recolección de datos, análisis de los resultados, elaboración de conclusiones y construcción de informes. El énfasis de la propuesta está en enseñar significativamente aspectos metodológicos de la ciencia y que nuestros alumnos, pueden responderse preguntas como: ¿Qué fundamenta este conocimiento? ¿Qué evidencia/s experimentales tenemos sobre esto?

Desde luego, la aproximación presentada aquí no pretende de ningún modo ser excluyente del uso de otros enfoques pedagógicos. Por el contrario, busca aportar una herramienta adicional al menú de opciones didácticas para la enseñanza y el aprendizaje de la física a partir de ejemplos concretos.

La estrategia de trabajo elegida es un enfoque constructivista. Según este enfoque cognitivo, el desarrollo del conocimiento implica una reorganización de las estructuras mentales producto de las interacciones de los individuos con su medio ambiente. Se acepta que las personas poseen conceptos organizados de una determinada manera en la memoria y que construyen nuevos significados a partir de los preexistentes en interacción con su experiencia física, social y cultural (Porlan, 1995). Desde la perspectiva cognitiva aprender es *construir modelos* para interpretar la información que se recibe (Municio, 1996). Sin bien no existe un enfoque único del *constructivismo*, se puede decir que hay muchos rasgos comunes en la concepción del aprendizaje desarrollado por varios autores, entre los que se destacan: Piaget, Ausubel, Vygotsky, etc. (J.D. Novak, D.B. Gowin, 1988).

Algunas características distintivas de este enfoque son (Quiroz, 2007):

- ✓ El nuevo conocimiento es construido sobre los conocimientos relevantes que tiene el alumno y no por simple transmisión.
- ✓ La construcción del nuevo conocimiento es el resultado de una actividad, el nuevo conocimiento está incluido en la actividad y se le presenta al alumno o lo descubre en el proceso.
- ✓ Quien enseña debe tener en cuenta los conocimientos previos de los estudiantes. Para que haya aprendizaje significativo debe existir una interacción entre los conocimientos que posee el alumno y los conocimientos nuevos. En esta dinámica, los nuevos conocimientos adquieren significado para los estudiantes y se cambian los conocimientos previos logrando un aprendizaje.

Desde este punto de vista el estudiante no se considera como un receptor pasivo de conocimiento, sino como un constructor activo. En este proceso, las nuevas ideas presentadas por el profesor se relacionan con las ideas que ya existen en la estructura cognitiva del alumno. El aprendizaje requiere la activación de una idea o conocimiento previo que sirva para organizar la información nueva y otorgarle un significado.

3. EL SMARTPHONE

Para los experimentos que proponemos más adelante se debe disponer de al menos un Smartphone con varias aplicaciones (Apps) que se pueden bajar en forma gratuita del Play Store para los equipos Androide. A modo de ejemplo mencionamos algunas: Frequency Sound Generator, Smart Measure, Physics Toolbox, Androsensor, Camera Ruler, Angle Meter, Science Journal, ON Distance. Todas estas aplicaciones sirven para medir diferentes magnitudes físicas como longitudes, aceleraciones, velocidades angulares, iluminación, proximidad, etc. o emitir tonos muy definidos. Cada una de las aplicaciones presenta una breve introducción a su correcto uso. Recomendamos siempre que el usuario las atienda para lograr un correcto manejo y experimente con ellas para sacarles el mejor provecho (PhoneLabs, 2016), (Ambrosio, 2016).



Figura 1. Ilustración del Smartphone. A la izquierda se muestra como se designan las direcciones y sentidos de los ejes del smartphone.

Los ejes que se asignan al celular se muestran en la Figura 1, dados los sentidos de x e y se obtiene fácilmente z mediante la regla del tornillo de rosca derecha o regla del tirabuzón. Estos ejes son los que debemos tener en cuenta siempre que midamos magnitudes de tipo vectorial como lo son la aceleración y la velocidad angular. En cada medición de este tipo obtendremos las componentes cartesianas que conjuntamente con las condiciones iniciales de nuestro sistema nos permiten describirlo. Por ejemplo, la velocidad en función del tiempo se construye usando el período de muestreo y la velocidad inicial:

$$v(t_1) = v(t=0) + a(t_0) \cdot (t_1 - t_0)$$

En el siguiente período,

$$v(t_2) = v(t_1) + a(t_1) \cdot (t_2 - t_1)$$

y así sucesivamente.

De forma general:

$$v(t_{(i+1)}) = v(t_i) + a(t_i) \cdot (t_{(i+1)} - t_i) \quad (1)$$

con $i = 0, 1, 2, \dots, N$, siendo N el enésimo dato.

Para obtener la posición en función del tiempo, el procedimiento es similar al anterior, se parte de la velocidad generada y la altura inicial, y_0 :

$$y(t_1) = y_0 + v(t_0) \cdot (t_1 - t_0),$$

En el siguiente período de medición es

$$y(t_2) = y(t_1) + v(t_1) \cdot (t_2 - t_1)$$

De forma general:

$$y(t_{(i+1)}) = y(t_i) + v(t_i) \cdot (t_{(i+1)} - t_i) \quad (2)$$

con $i = 0, 1, 2, \dots, N$; siendo N el enésimo dato.

Los procedimientos anteriores se pueden implementar fácilmente en una hoja de cálculo.

Protección del celular:

Varios de los experimentos a realizar, involucran que el celular caiga al suelo, por lo que se sugiere disponer de un envoltorio de amortiguamiento que proteja al celular. Una bolsa o “case” de espuma plástica, donde el celular esté bien confinado, junto a una colchoneta de un material similar en el suelo puede ser adecuado. Evite sin embargo, que el tamaño del celular y su envoltorio no sean demasiado grandes, ya que la fricción con el aire puede empezar a afectar significativamente la forma en que cae el celular.

4. EXPERIMENTOS PROPUESTOS

Son variados los experimentos que pueden desarrollarse, a modo de ilustración y motivación proponemos algunos, y alentamos a que los colegas docentes puedan ir descubriendo o inventando otros.

Experimento 1: Cinemática, conceptos básicos: Posición, velocidad, aceleración

Experimento 2: Estudio de la caída libre

Experimento 3: Decaimiento radiactivo usando la espuma de la cerveza

Experimento 4: Efecto Doppler Acústico

Experimento 5: Estudio de oscilaciones de un sistema de masa y resorte

Experimento 1: Cinemática, conceptos básicos: Posición, velocidad, aceleración

La descripción de los movimientos está presente en cualquier curso introductorio de mecánica del punto. Nuestros alumnos, en general, presentan dificultades para comprender los gráficos de aceleración, velocidad y posición y las ecuaciones horarias del movimiento, no es un concepto fácil de comprender para estudiantes principiantes. Aquí presentamos una actividad muy simple, un descenso de un carrito por un plano inclinado con un smartphone adherido, que permite entender el uso básico de los smartphones y la comprensión de los significados físicos de los gráficos así como de las leyes horarias que lo describen (Countryman, 2014), (Jochen Kuhn, Patrik Vogt, 2013).

Materiales y métodos

El experimento es muy simple, se libera desde el reposo un carrito de laboratorio por un riel de inclinación fija, en este caso 15° . Con la aceleración obtenida (conjunto de datos recolectados con el smartphone) y conociendo la velocidad inicial determinamos la velocidad y luego la posición en función del tiempo usando las ecuaciones (1) y (2) en una hoja de cálculo.

Resultados

La aceleración del carro, como es de esperar, es constante. Dado que la trayectoria es una línea recta se lo puede clasificar en movimiento rectilíneo uniformemente variado. En la Figura 2 se presentan los resultados obtenidos.

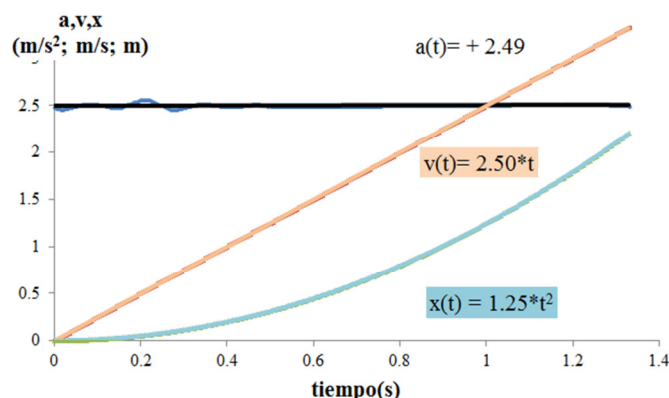


Figura 2. Posición, velocidad y aceleración para un carrito que desciende por un plano inclinado. En negro la aceleración, constante. En rosa la velocidad, y en celeste la posición.

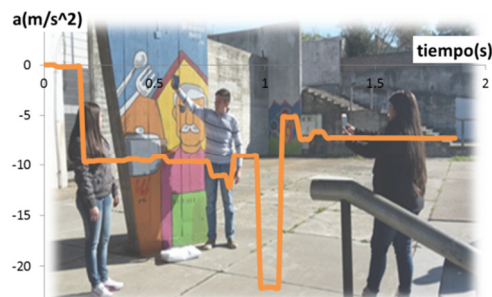
Conclusiones

La aceleración es constante ($a(t) = 2.49 \text{ m/s}^2$), la velocidad es $v(t) = 2.50 \cdot t$ y la posición $x(t) = 1.25 \cdot t^2$. Si el sistema no tuviera rozamiento deberíamos esperar una aceleración de 2.54 m/s^2 un valor menor indica la presencia de un roce mínimo. Estos polinomios son conocidos por los estudiantes de secundaria y estudiados en los cursos paralelos de matemática pero en general no asocian este conocimiento a los conceptos físicos. Este experimento es muy útil para comprenderlos. Este estudio puede complementarse con un estudio dinámico (Martín Monteiro, Cecilia Stari, Cecilia Cabeza, y Arturo C. Marti., 2015), y consideraciones energéticas, para esto basta con conocer la masa del sistema.

Experimento 2: Estudio de la caída libre

En este experimento nos proponemos estudiar la caída libre, usando dos smartphones. El cambiar la masa de un objeto que cae (smartphone) permite recrear la confrontación de ideas aristotélicas y galileanas sobre este punto (Lombardi, 1997), (Gil, 2014), (Patrik Vogt and Jochen Kuhn, 2012).

Figura 3. Aceleración en función del tiempo. Se aprecia cuando se suelta el smartphone y luego cuando golpea contra la almohada.



Materiales y métodos

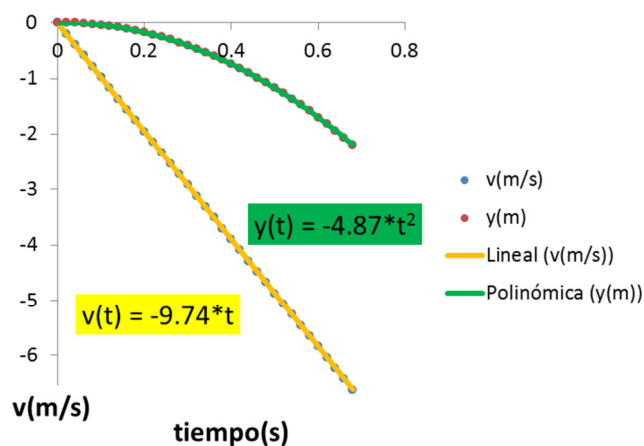
El equipamiento para realizar este experimento consiste de dos smartphones. La idea central es dejar caer un smartphone sobre una almohada o similar desde una altura de alrededor de 2.0 m. Luego adherir ambos celulares y dejarlos caer nuevamente. Después de analizar si existe o no cambio de aceleración gravitatoria mediante el estudio de los datos obtenidos con el smartphone se obtienen la velocidad y la altura en función del tiempo.

Resultados

En las Figuras 3 y 4 se muestran la aceleración, velocidad y altura en función del tiempo. En este caso el mejor valor de la aceleración gravitatoria se obtuvo como el promedio de las aceleraciones en el intervalo identificado de la caída, su valor es 9.74 m/s^2 .

Figura 4. En trazo continuo anaranjado la velocidad de caída ajustada con una recta y con círculos azules los datos obtenidos. En trazo continuo verde la altura en función del tiempo ajustada con una parábola y con círculos rojos los datos generados.

La velocidad en función del tiempo es $v(t) = -9.74 \cdot t$ y la altura, tomando como cero el lugar desde donde se libera el celular, $y(t) = -4.87 \cdot t^2$. Con el tiempo de caída, $\Delta t = 0.64 \text{ s}$ se obtiene una altura de aproximadamente 2.0 m .



Conclusiones

La actividad permite que los alumnos comprendan las ideas de Aristóteles y las confronten con las ideas de Galileo entendiendo que el tiempo de caída de los cuerpos (en el aire y en las condiciones del experimento) no depende del peso de los cuerpos. Por otro lado consolidan lo aprendido sobre gráficos y los conceptos involucrados en éstos.

Experimento 2: Decaimiento radiactivo usando la espuma de la cerveza

Sin importar la naturaleza del decaimiento radiactivo, su característica principal es que es un proceso estadístico. La descripción de este proceso se hace a través de:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (3)$$

donde N_0 es el número de núcleos radiactivos de la muestra en $t=0$, λ la constante de desintegración y $N(t)$ la cantidad de núcleos que quedan a tiempo t . El tiempo de vida media puede obtenerse con:

$$t_{1/2} = \ln 2 / \lambda \quad (4)$$

Estos conceptos que pueden parecer sencillos no lo son para nuestros alumnos y en el mejor de los casos logran operar con las relaciones matemáticas pero sin entender los conceptos involucrados. En esta propuesta se presenta un experimento para enseñanza media, sencillo y muy cercano a nuestros alumnos, que puede ser usado como una analogía para el aprendizaje de la radiactividad natural (García-Molina, 2013), (Leike, 2002). Su implementación es muy barata, permite incorporar el smartphone como instrumento de medición y genera competencias de manejo de datos y el trabajo en equipo. Los conceptos arriba descriptos les resultan más comprensibles a nuestros alumnos si se tiene un puente que podría ser este experimento.

Materiales y métodos

El equipamiento es: un vaso cilíndrico de sección uniforme y copa ambos de diámetros conocidos, una lata de cerveza, un smartphone con una aplicación capaz de medir longitudes en la pantalla y una PC. Opcionalmente se puede usar una regla de referencia y un reloj para llevar todo a escala. Antes de iniciar el experimento medimos la temperatura de la cerveza y los diámetros de los recipientes. Sobre una mesa colocamos el vaso, la copa, vertimos cerveza en el vaso y en la copa logrando una buena espuma. Comenzamos a fotografiar a tiempos regulares (unidades de tiempo μT), con el

smartphone fijo, el proceso y luego de obtener todas las imágenes empleando el propio smartphone o la PC obtenemos las alturas con su incertidumbre. Finalmente graficamos altura en función del tiempo y con el ajuste adecuado determinamos la constante de desintegración de la espuma y su vida media.

Resultados

Para cada uno de los recipientes determinamos la altura (H) de la espuma como función del tiempo (t) y ajustamos los datos con un modelo exponencial. En las Figuras 5 y 6 se presentan los resultados obtenidos.

Figura 5. Se representan las alturas como función del tiempo. Con símbolos triangulares corresponden a la copa y la línea continua violeta es el ajuste exponencial de los datos. Los símbolos circulares celestes corresponden al vaso y la línea continua verde es el ajuste exponencial de estos datos.

Las constantes de desintegración, usando la linealización de la ecuación (3) son: $\lambda_{\text{copa}} = (9.7 \pm 0.5) \times 10^{-3} \text{ uT}^{-1}$ y $\lambda_{\text{vaso}} = (9.3 \pm 0.4) \times 10^{-3} \text{ uT}^{-1}$. Las incertidumbres tenidas en cuenta para expresar el resultado se originan del error estadístico del ajuste y de las incertidumbres en la altura y el tiempo. Los tiempos de vida media, usando la ecuación (4) son: $t_{1/2_{\text{copa}}} = (71 \pm 4) \text{ uT}$ y $t_{1/2_{\text{vaso}}} = (74 \pm 3) \text{ uT}$.

Una discusión interesante puede darse a partir de una fotografía tomada al azar de la espuma de cerveza y preguntarle a los alumnos: ¿Cuánto tiempo hace que la espuma de esa foto está decayendo si sigue igual patrón que el estudiado?

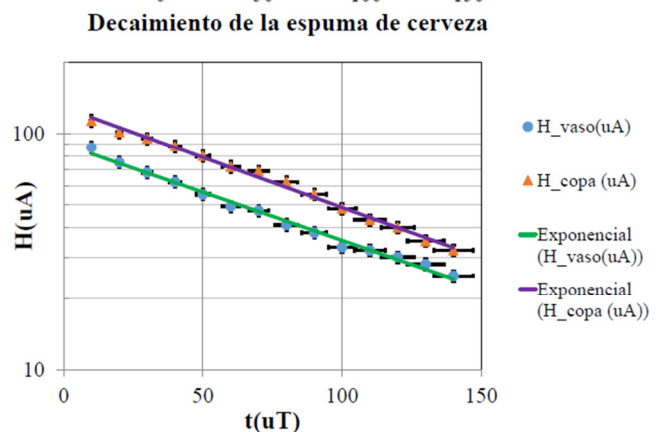
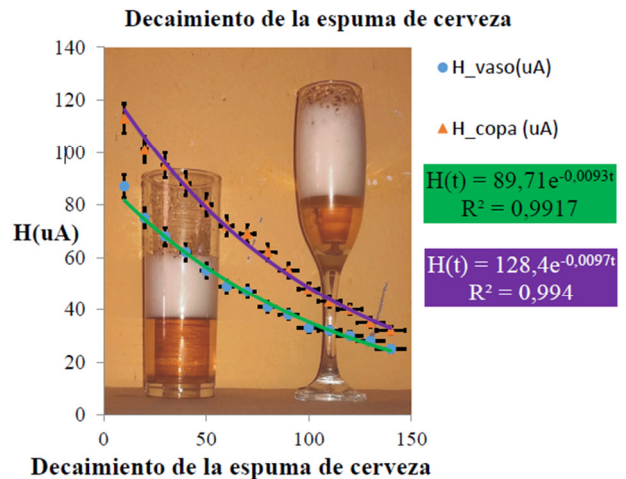


Figura 6. En este gráfico se usa escala semilogarítmica en la cual los comportamientos exponenciales se linealizan. El trazo continuo violeta corresponde a la copa y el trazo continuo verde al vaso.

Conclusiones

La actividad propuesta es de bajo costo, incorpora el smartphone como instrumento de medición y permite que el alumno aprenda conceptos que les son útiles para comprensión de la radiactividad natural. El tener que determinar la ley que describe el comportamiento de la espuma lo acerca a diferentes procedimientos que son propios de la ciencia: medir cuidadosamente, procesar los datos, discutir los resultados, informarlos y trabajar en equipo. En este trabajo se privilegian los procedimientos más que la transmisión de información del tema.

Experimento 3: Efecto Doppler Acústico

El efecto Doppler acústico puede ser revisado de manera sencilla usando ondas acústicas (Marcelo M. F. Saba, Rafael Antonio da S. Rosa, 2003), (Gil, 2014), (J.L. Di Laccio, M. Ferrón, S. Gil, R. Alonso Suárez, 2016). En este trabajo se lo analiza de forma cuantitativa utilizando como accesorio un péndulo y un smartphone. Se usa como accesorio un péndulo

dada su fácil implementación y el conocimiento, que en general, ya poseen los estudiantes. Se deduce una expresión analítica para frecuencia que involucra la velocidad angular del péndulo y el ángulo respecto de la vertical y se la coteja con los resultados experimentales de frecuencia obtenidos por otro método. La velocidad angular del péndulo se obtiene usando un smartphone y el ángulo se puede obtener a partir de la velocidad angular y el ángulo inicial. Con los datos obtenidos se calcula la frecuencia teórica y se determina independientemente la experimental.

Cuando una fuente de sonido en movimiento se nos acerca, y nos encontramos en reposo, detectamos un aumento en la frecuencia y entonces el tono lo escuchamos más agudo que el emitido. En cambio, al alejarse el tono es más grave. La frecuencia medida por el observador es, en cada caso:

$$f_{Obs} = f_{fuente} \frac{c \pm v_{Obs}}{c \mp v_{fuente}}$$

En esta ecuación, f_{fuente} es la frecuencia emitida por la fuente, c es el módulo de la velocidad del sonido respecto del aire, v_{Obs} es el módulo de la velocidad del receptor y v_{fuente} es el módulo de la velocidad de la fuente. Los signos superiores se toman en el caso en que “se acercan” y los inferiores cuando “se alejan”.

La ecuación (3), adaptada para el caso que estamos estudiando, viene dada por:

$$f(t) = f_0 \frac{c}{c \mp \omega_z(t) L \cos\left(\frac{\theta(t)}{2}\right)} \quad (5)$$

Donde ω_z es la velocidad angular del bulbo del péndulo respecto del punto de sujeción, L el largo de este y $\gamma = \frac{\theta(t)}{2}$ el ángulo que forma la velocidad tangencial con la dirección de acercamiento o alejamiento al observador, ver Figura 7.

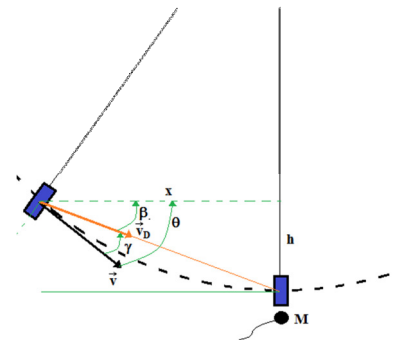


Figura 7. Esquema para la obtención de la velocidad de acercamiento o alejamiento. En anaranjado se identifica dicha velocidad.

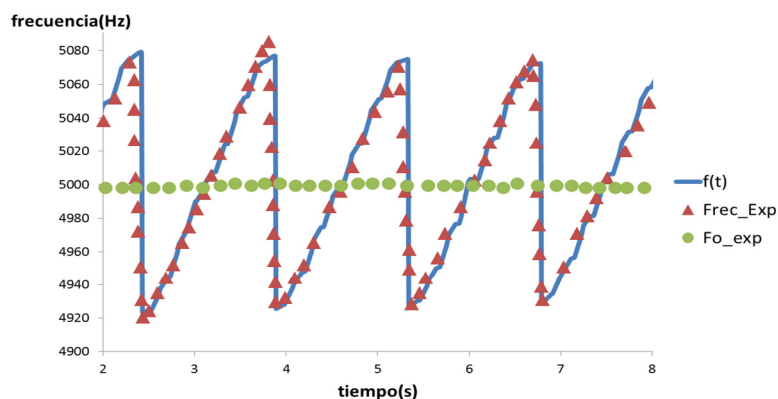
Materiales y métodos

Para la realización del experimento se utilizan dos smartphones. Uno genera un tono de 5 kHz y registra la velocidad angular en función del tiempo. El otro sirve para grabar el tono emitido por el primero. El péndulo se construyó con una varilla delgada de aluminio de una longitud de 1,8 m. Para registrar y analizar el sonido recibido por un observador en reposo se utilizó una PC con los programas para: grabar audio, analizar la frecuencia a partir de un archivo .wav y hojas de cálculo. La realización es simple. Se activan las grabaciones en los smartphones y la PC y luego se libera el bulbo del péndulo (smartphones) y se deja oscilar en torno al punto de equilibrio estable algunas veces.

Resultados

Las frecuencias obtenidas se muestran en la Figura 8. El smartphone que viaja con el emisor del tono mide una frecuencia de 5 KHz, como era de esperarse. Sin embargo la PC registrar un cambio de tono, por encima y por debajo de la frecuencia emisora. Esto se corresponde con el acercamiento y alejamiento del bulbo emisor al micrófono de la PC. La frecuencia obtenida experimentalmente coincide muy bien con el modelo teórico dado por la ecuación (5).

Figura 8. Con círculos verdes la frecuencia emitida por la fuente que es grabada con un celular que viaja con la fuente emisora. Con triángulos rojos la frecuencia obtenida con la grabación de audio de la PC (obtenida con un micrófono) y con trazo azul continuo el modelo teórico de la ecuación 4.



Conclusiones

Se encontró un excelente ajuste entre el modelo teórico de la frecuencia dada por la ecuación (4) y los datos experimentales. Dos experimentadores, uno en reposo respecto de la fuente emisora y otro en movimiento relativo obtienen frecuencias diferentes. Esto muestra que la medición es dependiente del observador. Este es un ejemplo simple de relatividad en el marco de la física clásica. La experiencia demuestra además que los smartphones son recomendables no solo para experiencias sencillas sino para realizar experimentos más sofisticados.

Experimento 4: Estudio de oscilaciones de un sistema de masa y resorte

Existen diferentes propuestas para estudiar las oscilaciones en general y de sistema de masa y resorte en particular (J A Sans, F J Manjón, A L J Pereira, J A Gomez-Tejedor and J A Monsoriu, 2013), (Kuhn, 2012),. Estudiamos como varía el período de oscilación del sistema de masa y resorte al variar la masa. Este estudio es muy rico para la enseñanza y el aprendizaje ya que permite que los alumnos adquieran muchas competencias del trabajo en Física.



Figura 9. Alumnos experimentando con sus sistemas de masa y resorte.

Materiales y métodos

El equipo necesario es: un smartphone, un resorte, una balanza, pesas y una PC. Para recolectar datos basta con colocar el celular en un extremo de un resorte sujeto por un extremo, estirarlo algunos centímetros y liberarlo desde el reposo. En la Figura 9 se presenta a modo ilustrativo el diseño experimental.

Resultados

En la Figura 10 en la derecha se presenta la aceleración en función del tiempo para uno de los sistemas de masa y resorte utilizado. Se puede apreciar como fácilmente se puede

extraer de la gráfica el valor del período de oscilación. Aquí hemos tomado el tiempo de diez oscilaciones completas y el período es este tiempo dividido diez. Sin embargo, ajustando una función sinodal a los datos, este período y/o frecuencia se puede obtener con una precisión de 0,5%. De este modo es posible estudiar la variación del período de oscilación con el valor de la masa del sistema. En la parte izquierda de la Figura 10 se muestra el período al cuadrado en función de la masa y el ajuste de los datos. Del ajuste la constante elástica del resorte es (6.7 ± 0.2) N/m, y nos permite poner a prueba el

importante resultado de los sistemas oscilatorios: $T^2 = 4\pi \frac{m}{k}$.

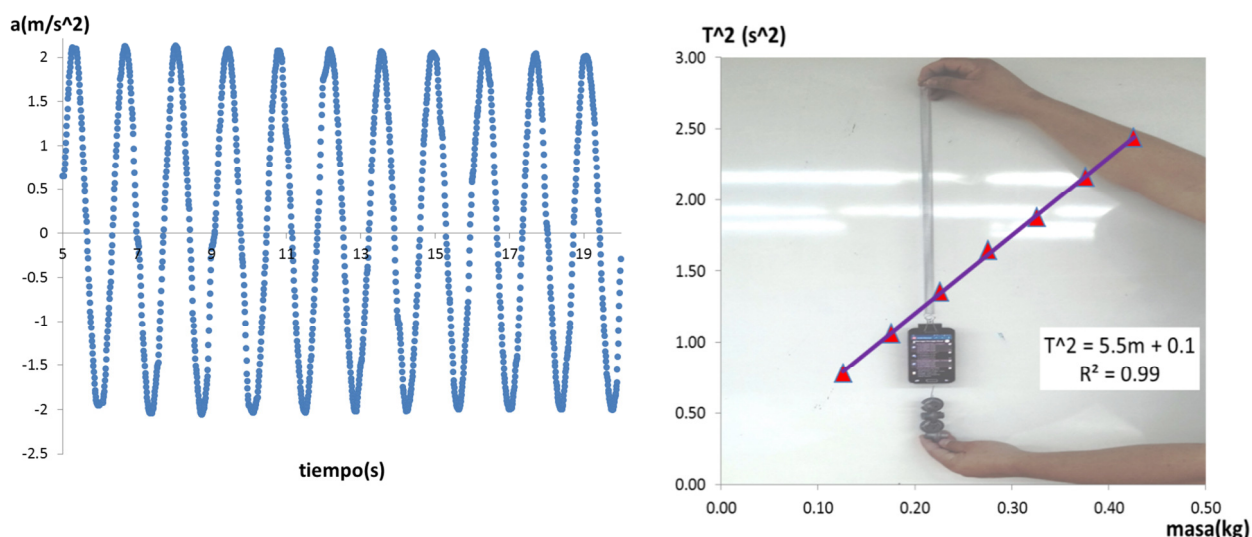


Figura 10. En azul los datos experimentales y en rojo la curva del modelo teórico que mejor ajusta.

Conclusiones

Los resultados que nos ofrece el smartphone son muy precisos y es un instrumento muy adecuado para estudiar las oscilaciones. Si bien aquí se presenta el caso del sistema de masa y resorte el péndulo simple es un sistema que también es de muy fácil estudio con el smartphone.

5. ESTO ES SOLO LA PUNTA DEL ICEBERG

En definitiva, este conjunto de experiencias son solo un listado muy sucinto de las múltiples aplicaciones que los Smartphone pueden tener en los laboratorios y aulas como herramienta de medición y aprendizaje de las ciencias. Además, permite a los estudiantes disponer de una poderosa herramienta de estudio, que la pueden llevar a la escuela, usar en la casa o para estudiar fenómenos donde quiera se encuentren y en el momento que lo deseen. La función de la escuela y el docente es así poner en valor y maximizar su uso en contextos educativos a este interesante dispositivo, cada vez más prevalente en la sociedad.

Referencias

Ambrosio, A. D. (2016). Smartphone: un laboratorio in tasca, non solo in classe. *DIDATTICA DELLE COMPETENZE CON LE TIC*(2), 8-14.

- Asim, F. (s.f.). *AndroSensor*. Recuperado el 15 de Agosto de 2016, de <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fivasim.androsensor&hl=en>.
- Countryman, C. L. (2014). Familiarizing Students with the Basics of a Smartphone's Internal Sensors. *The Physics Teacher*, 557-559.
- García-Molina, R. (2013). Cinco experiencias sencillas de física moderna. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 30-35.
- Gil, S. (2014). *Experimentos de Física usando TIC y elementos de bajo costo*. Buenos Aires: Alfaomega.
- J A Sans, F J Manjón, A L J Pereira, J A Gomez-Tejedor and J A Monsoriu. (2013). Oscillations studied with the smartphone ambient light sensor. *EUROPEAN JOURNAL OF PHYSICS*, 1349–1354.
- J.D. Novak, D.B. Gowin. (1988). *Aprendiendo a aprender*. Barcelona.
- J.L. Di Laccio, M. Ferrón, S. Gil, R. Alonso Suárez. (2016). Efecto Doppler: ¿Cómo obtenemos evidencias de la existencia de este fenómeno? *I Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias Básicas*.
- Jochen Kuhn and Patrik Vogt. (2012). Analyzing spring pendulum phenomena with a smart-phone acceleration sensor. *The Physics Teacher* (50), 504-505.
- Jochen Kuhn, Patrik Vogt. (2013). Applications and Examples of Experiments with Mobile Phones and Smartphones in Physics Lessons. *Frontiers in Sensors*, 67-73.
- Kuhn, P. V. (2012). Analyzing simple pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher*, 439-440.
- Leike, A. (2002). Demonstration of the exponential decay law using beer froth. *European Journal of Physics*, 21-26.
- Lombardi, O. (1997). Comparación entre la Física Aristotélica y la Mecánica Clásica. *Educación en Ciencias*, 62-70.
- Marcelo M. F. Saba, Rafael Antonio da S. Rosa. (2003). The Doppler Effect of a Sound Source Moving in a Circle. *The Physics Teacher*, 89-91.
- Martín Monteiro, Cecilia Cabeza, Arturo C. Marti, Patrik Vogt, and Jochen Kuhn. (2014). Angular velocity and centripetal acceleration relationship. *The Physics Teacher* 52, 312 (2014);(52), 312-313.
- Martín Monteiro, Cecilia Stari, Cecilia Cabeza, y Arturo C. Marti. (2015). The Atwood machine revisited using smartphones. *The Physics Teacher*, 53(6), 373-374.
- Monteiro, Martín, Cabeza, Cecilia & Marti, Arturo C. (2015). Medidas de aceleração utilizando os sensores de telefones inteligentes: trabalhando com o princípio de equivalência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 1303.
- Municio, P. (1996). *Aprendices y maestros*. Madrid: Alianza Editorial.
- Patrik Vogt and Jochen Kuhn. (2012). Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher*(50), 182-183.
- PhoneLabs. (2016). *phonelabs.net*. (S. P. Ltd., Productor) Recuperado el 1 de 5 de 2016, de PhoneLabs originated in the Australian Science and Mathematics School (ASMS): <http://www.phonelabs.net/>
- Porlan, R. (1995). *Cosntructivismo y Escuela. Hacia un modelo de aprendizaje basado en la investigación*. Sevilla: Diada Editora.

- Quiroz, J. (2007). *Las interacciones en un entorno virtual de aprendizaje para la formación continua de docentes de enseñanza básica*. Universidad de Barcelona: Tesis Doctoral.
- Sidney Mau, Francesco Insulla, Elliot E. Pickens, Zihao Ding, and Scott C. Dudley. (2016). Locating a smartphone's accelerometer. *The Physics Teacher*, 246-247.
- Silvia Calderón, Pablo Núñez, José Luis Di Laccio, Leila Mora Iannelli, Salvador Gil. (2015). Aulas-laboratorios de bajo costo, usando TIC. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 212-226.