

Smartphone una herramienta de laboratorio y aprendizaje: laboratorios de bajo costo para el aprendizaje de las ciencias



Salvador Gil¹ & José Luis Di Laccio^{2,3}

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

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

E-mail: sgil@unsam.edu.ar

(Recibido el 15 de marzo de 2017, aceptado el 17 de marzo de 2017)

Resumen

En este trabajo presentamos un conjunto de Mini Proyectos Experimentales (MPE), basados en el aprendizaje por inmersión o indagación, que incorporan el teléfono celular inteligente (smartphones) y un equipamiento básico, de muy bajo costo, constituido por planos inclinados, poleas, resortes, soportes, péndulos, etc. 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.

Palabras clave: aprendizaje por inmersión, experimentos, smartphone

Abstract

We present a set of Mini Experimental Projects (MEP), based on the approach of active learning or learning by immersion, which incorporate smartphones and very low cost homemade equipment, consisting of: inclined planes, pulleys, springs, supports and pendulums. The experimental set ups make intensive use of smartphones associated with different free access applications (Apps). The Apps are used to measure different physical quantities, analogous to data acquisition systems based on a personal computer. Smartphones, combined with a PC, allow students and teachers to have access to sophisticated and modern laboratories to perform many experiments at school, home or in the field, transforming any of these settings into an environment for research and learning. The pedagogical framework proposed here, focuses on active learning and seeks to develop in students a critical spirit, promote teamwork and develop skills of inquiry and experimentation. Our aim is that students should answer the questions: What is the basis of our knowledge? What evidence supports this knowledge? These questions illustrate the nature of scientific thought. We think that the smartphone is a useful tool to improve learning of physics and science in general, encourage enthusiasm for science and help to develop problem solving skills that can be useful in various academic and work settings.

Keywords: learning by immersion, experiments, smartphone.

PACS: 07.05.-t, 43.58.+z, 01.50.My, 01.50.Pa, 01.50.Lc, 07.05.Hd, 45.20.D-, 45.40.Cc

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

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 está en la selección, integración curricular y adquisición de competencias, para el manejo de la información. Lo que quizás sea igualmente valioso para la enseñanza de las ciencias, es que los smartphone, 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 [1].

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 inocuo y esta 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 Experimentales 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. Como adquirentes de datos.
- ✚ Colocar como protagonistas a los alumnos y el desarrollo de su aprendizaje. Logrando que los estudiantes potencien su creatividad y sepan cómo aprender cosas nuevas, enfrentándose a ellas con confianza y buen criterio.

A. Enfoque pedagógico

Esta propuesta 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, construcción de informes y trabajo de equipos. El énfasis de la propuesta está en enseñar significativamente aspectos metodológicos de la ciencia y en el aprendizaje que desarrollan nuestros alumnos. Buscar que sean competentes y puedan responderse con fundamento 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.

B. El smartphone

Para los experimentos que proponemos más adelante se debe disponer de al menos un smartphone con 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, etc. Todas estas aplicaciones sirven para medir diferentes magnitudes físicas como longitudes, aceleraciones, velocidades angulares, iluminación, proximidad, nivel de sonido, campo magnético, etc. o emitir tonos muy definidos. Cada una de las aplicaciones presenta una breve explicación, dada por su diseñador, para su correcto uso. Recomendamos siempre que el usuario las atienda para lograr un correcto manejo y experimente con ellas para sacarles el mejor provecho [2,3].



FIGURA 1. A la izquierda un smartphone y a la izquierda se muestra como se designan las direcciones y sentidos de los ejes cartesianos asociados a las magnitudes vectoriales que le es posible medir con Apps adecuadas.

Los ejes cartesianos que se le asignan al celular se muestran en la Fig. 1, dadas la dirección y los sentidos de x e y se obtiene fácilmente el eje 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 a magnitudes que pueden construirse a partir de las anteriores. Por ejemplo, en una medición de

aceleración obtendremos las componentes cartesianas de esta y si conocemos las condiciones iniciales de nuestro sistema móvil podremos construir las funciones velocidad y posición. La velocidad en función del tiempo se construye usando el período de muestreo y la velocidad inicial:

$$v(t_1) = v(t=0) + a(t=0).(t_1 - t_0) \quad (1)$$

Obtenido el resultado de la ecuación (1), en el siguiente período tenemos:

$$v(t_2) = v(t=t_1) + a(t=t_1).(t_2 - t_1) \quad (2)$$

A partir de la ecuación (2) generamos la siguiente y así sucesivamente. De forma general:

$$v(t_{i+1}) = v(t=t_i) + a(t=t_i).(t_{i+1} - t_i) \quad (3)$$

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 :

$$y(t_1) = y_0 + v(t=0).(t_1 - t_0) \quad (4)$$

A partir de la ecuación (4), en el siguiente período de medición obtenemos:

$$y(t_2) = y(t=t_1) + v(t=t_1).(t_2 - t_1) \quad (5)$$

A partir de la ecuación (5) obtenemos la siguiente y así, sucesivamente. De forma general:

$$y(t_{i+1}) = y(t=t_i) + v(t=t_i).(t_{i+1} - t_i) \quad (6)$$

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

Los procedimientos anteriores se pueden implementar fácilmente en una hoja de cálculo [4].

C. Protección del celular

Varios de los experimentos propuestos en este trabajo, involucran que el celular pueda caer 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 en 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.

II. EXPERIMENTOS PROPUESTOS

Son varias los experimentos que pueden desarrollarse con creatividad pueden probarse diferentes opciones de nuestra

vida cotidiana, a modo de ilustración y motivación proponemos algunos, y alentamos a que los colegas docentes puedan ir descubriendo o inventando otros.

Experimento 1: Conceptos básicos de cinemática: aceleración, velocidad y posición.

Experimento 2: Estudio de la caída libre.

Experimento 3: Decaimiento de la espuma de cerveza.

Experimento 4: Efecto Doppler Acústico.

Experimento 5: Oscilaciones: sistema de masa y resorte.

Experimento 6: Ley de la inversa del cuadrado para la luz.

Experimento 1: Conceptos básicos de cinemática: aceleración, velocidad y posición.

La descripción de los movimientos está presente en cualquier curso introductorio de mecánica de nivel básico de física. Nuestros alumnos, en general, presentan dificultades para comprender los gráficos de aceleración, velocidad y posición y más aún cuando quieren asociarlos a las ecuaciones horarias que los describen. Para contribuir a la comprensión de gráficos y ecuaciones que los describen presentamos una actividad muy simple, estudiar el descenso de un carrito por un plano inclinado. El carrito tiene un smartphone adherido que mide la aceleración en la dirección del movimiento. Esta actividad en principio permite identificar claramente nuestro sistema de referencia, las condiciones iniciales de nuestro carro y entender el uso básico de los smartphones en cuanto a la selección de sensores activos y períodos de muestreo adecuados. Una vez recolectada la aceleración a través del smartphone podemos, mediante el uso de una hoja de cálculo, obtener la velocidad y posición en función del tiempo. Luego graficar y ajustar los datos para obtener las ecuaciones que mejor describen la situación. Este procedimiento permite la comprensión de los significados físicos de los gráficos así como de las leyes horarias que lo describen [5,6].

Materiales y métodos

El experimento es muy simple, se define con los alumnos un sistema de referencia y su origen y se anotan las condiciones iniciales del carro, se configura la medición, se identifican los ejes cartesianos y se libera el carrito por un riel de inclinación fija, en este caso 15° medidos con Angle Meter. La aceleración obtenida y las condiciones iniciales de velocidad y posición permiten a través de las ecuaciones (3) y (6) construir los cuadros de datos para graficar la velocidad y posición del tiempo 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.

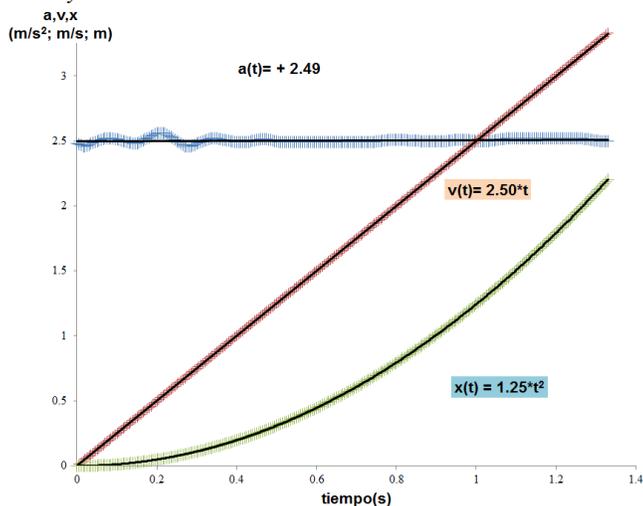


FIGURA 2. Posición, velocidad y aceleración para un carrito que desciende por un plano inclinado. En líneas continuas negras los ajustes.

Conclusiones

La aceleración es constante: $a(t)=2.49 \text{ m/s}^2$, la velocidad es $v(t)=2.50*t$ y la posición $x(t)=1.25*t^2$. 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 entre las ruedas del carro y el plano inclinado. Los polinomios obtenidos 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, y consideraciones energéticas, para esto basta con conocer la masa del sistema [7]. También puede implementarse usando una bicicleta, patineta u otro elemento que sea de interés para el alumno.

Experimento 2: Estudio de la caída libre

En este experimento estudiamos la caída libre y usamos dos smartphones [8]. Primero dejamos caer uno solo y luego los adherimos a los dos y nuevamente los dejamos caer. El cambiar la masa de un objeto que cae permite recrear la confrontación de ideas aristotélicas y galileanas sobre este punto [9,10].

Materiales y métodos

El equipamiento para realizar este experimento consiste de dos smartphone. La idea central es dejar caer un smartphone sobre una almohada, colchón o similar desde una altura de alrededor de 2.0 m primero y luego los dos juntos. Luego analizar si existe o no cambio de aceleración gravitatoria al cambiar la masa, para uno de ellos obtener la velocidad y la altura en función del tiempo y finalmente cotejar si la altura obtenida por medida directa es igual a la que se obtiene usando la ley horaria de posición.

Resultados

No se obtienen cambios significativos en el valor de la

aceleración, aquí debe tenerse la precaución de que los smartphones realmente describan una trayectoria recta evitando que pequeños giros lleven a conclusiones erróneas. Para uno de los casos, caída de un solo celular, 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 . Para obtener la velocidad y posición en función del tiempo se usan las ecuaciones (3) y (6) en una hoja de cálculo.

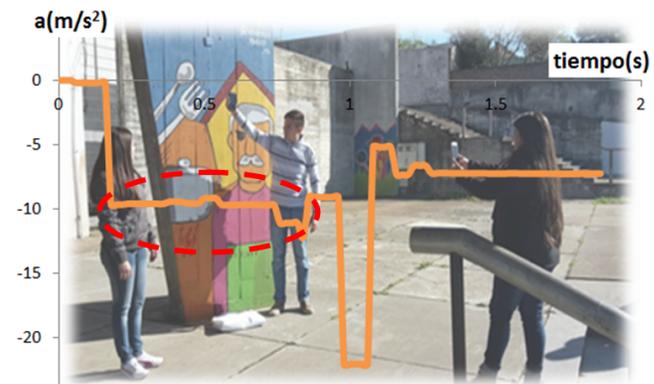


FIGURA 3. Aceleración en función del tiempo en trazo continuo de color anaranjado. A modo ilustrativo en la imagen de fondo del gráfico se aprecia cuando se suelta el smartphone y se mide con otro smartphone la altura usando la aplicación Smart Measure. El óvalo en líneas de punto indica la caída libre del Smartphone.

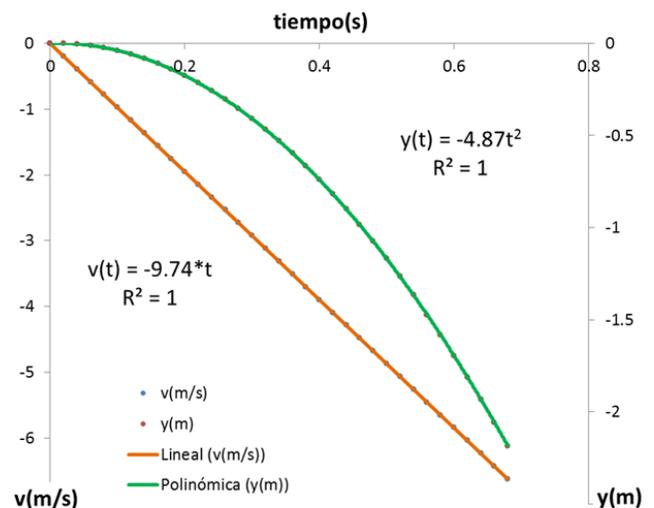


FIGURA 4. En trazo continuo anaranjado la velocidad de caída ajustada con una recta y con círculos azules los datos obtenidos. En trazo continuo verde la altura en función del tiempo ajustada con una parábola y con círculos rojos los datos generados.

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

Smartphone una herramienta de laboratorio y aprendizaje: laboratorios de bajo costo para el aprendizaje de las ciencias aire y en las condiciones del experimento) no depende del peso de los cuerpos ya que las aceleraciones medidas son prácticamente iguales. A partir de la aceleración y las condiciones iniciales se obtienen funciones adecuadas para la velocidad y posición en función del tiempo. La altura de caída medida directamente y usando la ecuación de la posición evaluada en el tiempo de caída difieren en un 5%. Los alumnos trabajan motivados por la actividad y consolidan sus conocimientos de cinemática, a la par de mejorar los procedimientos de procesamiento de datos. Este experimento es de fácil reproducción en el hogar y puede ser perfectamente una actividad complementaria al trabajo de aula. El smartphone permite medir con buena precisión el tiempo de caída ya que no introduce el tiempo de reacción del experimentador. También podría usarse el smartphone para grabar audio y realizar este estudio mediante sonido, ver propuesta en la referencia [10].

Experimento 3: Decaimiento de la espuma de 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:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (7)$$

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:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (8)$$

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, de ágil implementación y sin riesgos de exposición a fuentes radiactivas, que puede ser usado como una analogía para el aprendizaje de la desintegración radiactiva [11,12,13]. El smartphone se incorpora como registro del proceso a través de su cámara fotográfica y luego para obtener de las fotografías la altura de la espuma con la aplicación Pantalla gobernante. Los conceptos arriba descritos les resultan más comprensibles a nuestros alumnos si se tiene un puente entre los conceptos abstractos de la desintegración radiactiva y el proceso de aniquilación de las burbujas de la espuma de la cerveza, ese puente podría ser este experimento.

Materiales y métodos

El equipamiento es: un vaso cilíndrico de sección uniforme, una lata de cerveza, un smartphone con una aplicación capaz de medir longitudes en la pantalla, una regla, un reloj y opcionalmente una PC. Antes de iniciar el experimento medimos la temperatura de la cerveza y el diámetro del recipiente, reconociendo que este proceso puede depender de la temperatura y lo que se reduce en realidad es el

volumen que al tener sección constante va variando directamente con la altura. Sobre una mesa colocamos el vaso, la regla y el reloj y vertimos cerveza con una buena espuma. Comenzamos a fotografiar, puede ser útil un trípode para mantener el smartphone fijo, el proceso. Luego de obtener todas las imágenes obtenemos las diferentes alturas con su incertidumbre (incertidumbre principalmente de indefinición). Se puede mejorar esta incertidumbre colocando sobre la espuma una pequeña lámina, de por ejemplo acetato, para uniformizar la espuma al descenso. Finalmente graficamos altura de la espuma en función del tiempo y con el ajuste adecuado determinamos la constante de desintegración de las burbujas de la espuma y su vida media.

Resultados

Con el gráfico de la altura H de la espuma como función del tiempo t y un ajuste exponencial se determina la constante de desintegración de la espuma y la vida media. En las figuras 5 y 6 se presentan los resultados obtenidos. La constante de desintegración, usando la linealización de la ecuación (7) es: $\lambda = (8.0 \pm 0.5) \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$. La incertidumbre en la vida media se puede obtener graficando $\ln(H(t)/H_0)$ como función de t . Usando las técnicas usuales de regresión lineal, se pueden obtener incertezas en los parámetros de la ley exponencial [10]. El tiempo de vida media, usando la ecuación (8) es: $t_{1/2} = (86 \pm 4) \text{ s}$.

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

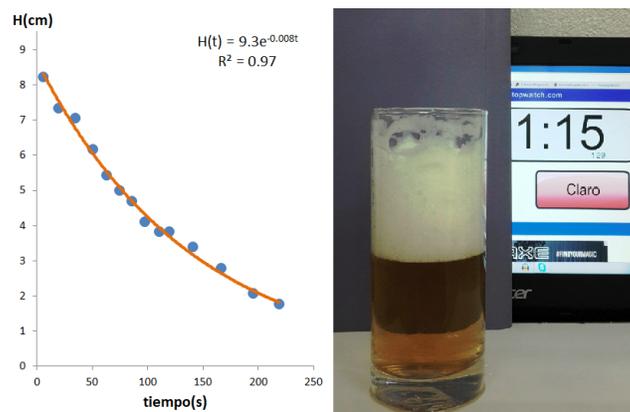


FIGURA 5. Se representa la altura como función del tiempo para el vaso con símbolos circulares azules. La línea continua anaranjada es el ajuste exponencial de los datos. Las barras blancas corresponden a la incertidumbre principal en la altura.

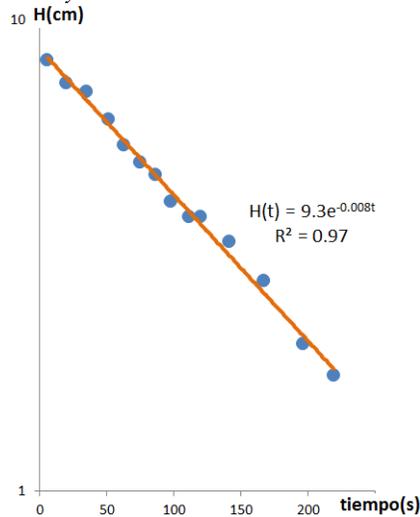


FIGURA 6. En este gráfico se usa escala semilogarítmica en la cual el comportamiento exponencial se linealiza.

Conclusiones

La actividad propuesta permite obtener una analogía directa con la desintegración de núcleos radiactivos. La observación del experimento permite identificar el carácter aleatorio de la desintegración, la burbuja que se rompe es cualquiera y la siguiente no depende de la que anteriormente se rompió. La ley de decaimiento de la espuma permite comprender el significado de la constante de desintegración λ y el tiempo medio con elementos cotidianos. Otra de las ventajas de esta propuesta es que los alumnos se inician en la realización de gráficos en escalas logarítmicas y/o linealizar expresiones matemáticas usando logaritmos, descubriendo algunas de sus muchas utilidades en ciencias.

Experimento 3: Efecto Doppler Acústico

El efecto Doppler acústico puede ser revisado de manera sencilla usando ondas acústicas [14,15,16,17,18]. En este trabajo se lo analiza de forma cuantitativa utilizando como accesorio un péndulo y un smartphone. Se usa un péndulo dada su fácil implementación y el conocimiento, que en general, ya poseen los estudiantes de cursos de mecánica que son previos al estudio del efecto Doppler. Para llevar adelante este experimento se parte de la ecuación (9) y mediante la Fig. 7 se deduce una expresión analítica para frecuencia Doppler, ecuación (10). La ecuación (10) involucra la frecuencia de la fuente emisora, la velocidad del sonido en el aire, el largo del péndulo, velocidad angular del péndulo y el ángulo respecto de la vertical y se la coteja con los resultados experimentales de frecuencia obtenidos al grabar la señal de audio con un micrófono conectado a una PC. 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, la técnica es similar a la presentada en la ecuación (6). 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:

$$f_{Obs} = f_{fuente} \frac{c \pm v_{Obs}}{c \mp v_{fuente}} \tag{9}$$

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 la velocidad de la fuente. La ecuación (9), adaptada para el caso que estamos estudiando, viene dada por:

$$f_{Obs} = f_{fuente} \frac{c}{c \mp \omega_z(t)L \cos\left(\frac{\theta(t)}{2}\right)} \tag{10}$$

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

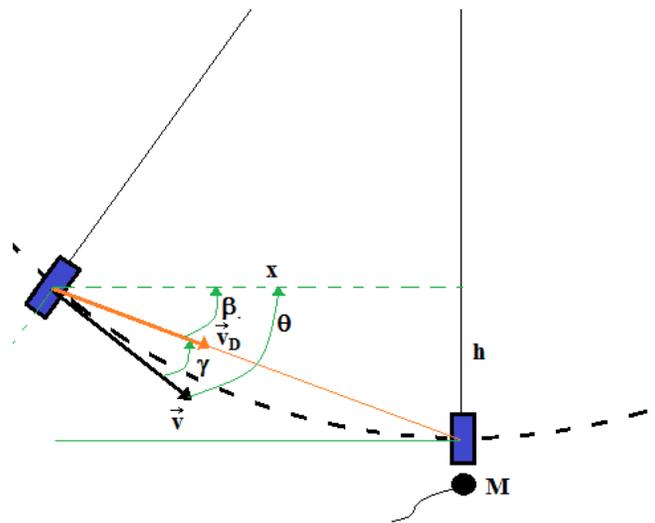


FIGURA 7. Esquema que permite identificar cual es la velocidad de acercamiento o alejamiento (en color anaranjada) del smartphone respecto del micrófono (M) estacionario.

Materiales y métodos

Para la realización del experimento se utiliza un smartphone que genera un tono de 5000 Hz y simultáneamente registra la velocidad angular en función del tiempo con el giroscopio. Adicionalmente podría usarse un segundo smartphone solidario al primero para grabar la señal de la fuente emisora y el alumno comprenda que lo que importa es en realidad el movimiento relativo entre

observador y la fuente no detectándose cambios en ese caso. El péndulo es una varilla delgada de aluminio de una longitud de 1.80m y el bulbo de este es el smartphone. El largo y la amplitud angular deben ser lo mayor posible para obtener velocidades del bulbo que permitan detectar el cambio de frecuencia con precisión. El cambio de tono se registrar con un micrófono unidireccional conectado a una PC. Para la recolección de datos se coloca en reposo el smartphone en el lugar de lanzamiento, se mide el ángulo y se activan el sensor giroscopio y la aplicación que genera el tono. Se inicia la grabación en la PC y se suelta el bulbo dejándolo oscilar en torno al punto de equilibrio estable algunas veces.

Resultados

Las frecuencias obtenidas con la ecuación (10) se muestran en la Fig. 8 con trazo continuo en azul y con triángulos rojos los datos obtenidos con la grabación en la PC. El análisis de la señal de la PC se realiza con el programa Spectrograma 16 y los datos se extraen de la imagen generada con el programa xyExtract, entendemos que este método es muy bueno para estudiantes recién iniciados [19,20,21]. Al agregar un smartphone adicional que viaja con el emisor del tono mide una frecuencia de (5000 ± 5) Hz, 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 (10).

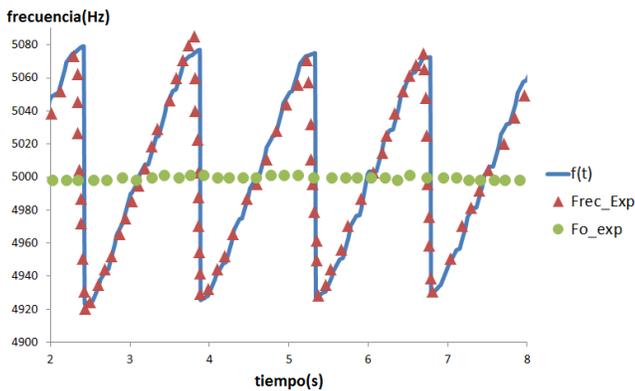


FIGURA 8. Con círculos verdes la frecuencia emitida por uno de los dos smartphone que actúan como bulbo del péndulo, que es grabada con el otro smartphone. Con triángulos rojos la frecuencia obtenida con el micrófono conectado a la PC y con trazo azul continuo el modelo teórico de la ecuación (10).

Conclusiones

Se encontró un excelente ajuste entre el modelo teórico de la frecuencia dada por la ecuación (9) y los datos del espectrograma. Los dos smartphones, 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 clásica. La experiencia, además de poner a prueba el modelo del efecto Doppler acústico, demuestra que los smartphones son recomendables no solo para experiencias sencillas sino para realizar experimentos más sofisticados.

Experimento 5: Oscilaciones: sistema de masa y resorte.

Existen diferentes propuestas para estudiar las oscilaciones [22,23,24]. Una experiencia que pone a prueba la dependencia del período de oscilación de un sistema de masa y resorte con su masa se puede realizar con excelente precisión usando un smartphone, pesas y un resorte. Además de puede determinar la constante elástica del resorte por un método dinámico y comparar este resultado con un método estático.

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. Luego se va aumentando la masa del sistema y se repite lo anterior. La aceleración del smartphone puede usarse para determinar el período de oscilación en cada caso. Para esto basta con graficar la aceleración en función del tiempo, medir unos cuantos ciclos y a partir de esto sacar un período promedio.

Resultados

En la Fig. 9 se presenta la aceleración en función del tiempo para uno de los sistemas de masa y resorte utilizado.

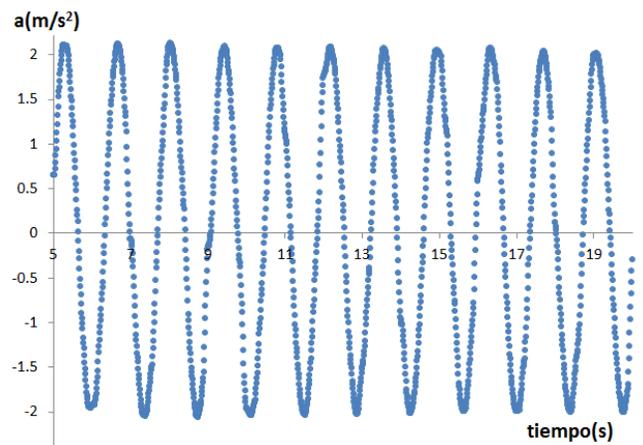


FIGURA 9. Aceleración como función del tiempo, los períodos de oscilación pueden identificarse con facilidad.

Se puede apreciar como fácilmente se puede extraer de la gráfica el valor promedio 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 sinusoidal 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 figura 10 se muestra el período al cuadrado en función de la masa y el ajuste lineal de los datos. Del ajuste la constante elástica del resorte es $(6.7 \pm 0.2) \text{ N/m}$, y nos permite poner a prueba el importante resultado de los sistemas oscilatorios:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{m}{k}$$

El término independiente de la ecuación del

ajuste puede ser discutido si se conoce la masa del resorte.

Conclusiones

Más allá de la precisión de los resultados este experimento muestra que el smartphone 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. Si pensamos en contextos al aire libre podemos estudiar oscilaciones del motor de un vehículo, las oscilaciones de un columpio, las vibraciones de una barra, entre otras.

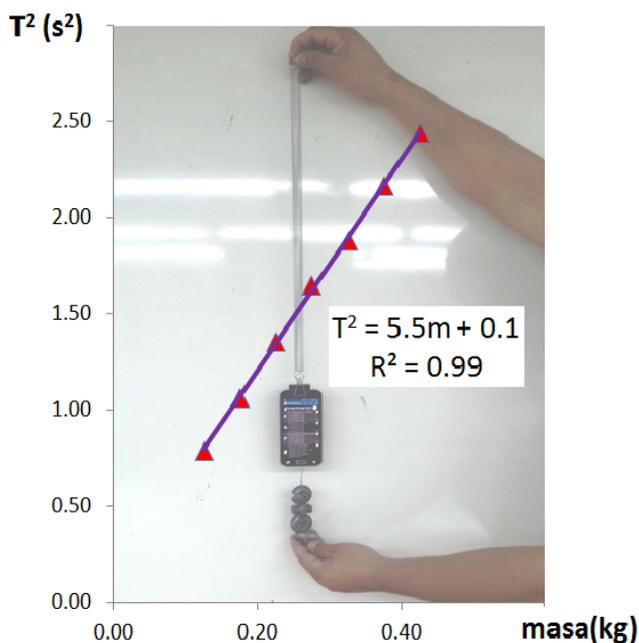


FIGURA 10. En símbolos triangulares de color rojo los diferentes períodos al cuadrado y en violeta el ajuste de los datos.

Experimento 6: Ley de la inversa del cuadrado para la luz. Esta ley establece que para una onda como, por ejemplo la luz, que se propaga desde una fuente puntual en todas direcciones por igual, la intensidad de la misma disminuye de acuerdo con el cuadrado de la distancia a la fuente de emisión. Matemáticamente la ley se puede escribir como:

$$I_{(r)} = \frac{P_0}{4\pi r^2} \quad (11)$$

P_0 es la potencia emitida por la fuente y r es la distancia

desde la fuente puntual al lugar donde se quiere conocer la intensidad de la onda. En este experimento cotejamos la ley usando un par de smartphones, donde uno actúa como fuente y el otro como sensor de luz [25]. Para ello se grafica la iluminación obtenida con el sensor del smartphone, menos la iluminación de fondo, en función del inverso del cuadrado de la distancia comenzando.

Materiales y métodos

Se utilizando dos teléfonos inteligentes, un banco de óptica con marcas cada 5.0cm y dos soportes de madera para enfrentar correctamente la fuente emisora y el sensor de luz de forma tal de facilitar la medida de la distancia entre ellas. En un cuadro de datos se registran la iluminación en *lux* y la distancia de la fuente al sensor iniciando desde 15.0 cm de la fuente y alejándonos 5.0cm cada vez. Iniciar a 15.0 cm nos ayuda a considerar a la fuente (flash) como relativamente puntual.

Resultados

En la Fig. 11 se presenta la gráfica de I en función del inverso del cuadrado de la distancia. Los puntos experimentales se ajustan con una línea recta, obteniéndose un excelente ajuste al modelo propuesto.

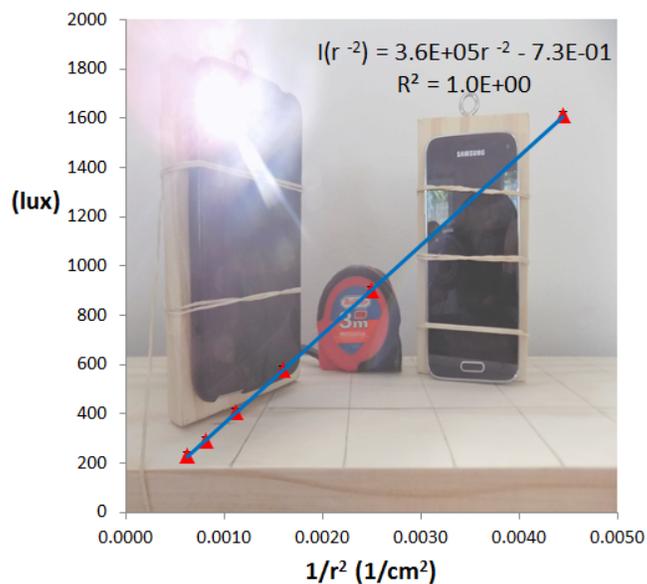


FIGURA 11. En triángulos rojos los puntos experimentales y en trazo continuo de color azul el ajuste de los datos.

Conclusiones

El ajuste obtenido demuestra que se cumple la ley de la inversa del cuadrado y la fuente de luz del smartphone puede considerarse como relativamente puntual para las distancias consideradas. Este experimento puede realizarse a un costo muy bajo y es reproducible tanto en el aula como fuera de ella.

III. CONCLUSIONES

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.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Asociación Física Argentina por el subsidio INVOFI.

REFERENCIAS

[1] Calderon, S., Núñez, P., Laccio, J. L., Mora Ianneli, L., Gil, S., *Aulas – laboratorios de bajo costo, usando TIC*, Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias **12**, 212-226 (2015).

[2] PhoneLabs, *Sensibility Pty Ltd.*, <<http://www.phonelabs.net/>>, consultado el 1 de mayo de 2016.

[3] Ambrosio, A., *Smartphone: un laboratorio in tasca, non solo in classe, Focus su Didattica delle competenze con le TIC*, Bricks **6**, 8-14 (2016).

[4] Buzzo Garrao, R., *Estrategia EE (Excel-Euler) en la enseñanza de la Física*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **1**, 19-23 (2007).

[5] Countryman, C. L., *Familiarizing Students with the Basics of a Smartphone's Internal Sensors*, The Physics Teacher **52**, 557-559 (2014).

[6] Kuhn, J., Vogt, P., *Applications and Examples of Experiments with Mobile Phones and Smartphones in Physics Lessons*, Frontiers in Sensors **1**, 67-73 (2013).

[7] Monteiro, M., Stari, C., Cabeza, C., Marti, A. C., *The Atwood machine revisited using smartphones*, The Physics Teacher **53**, 373-374 (2015).

[8] Vogt, P., Kuhn, J., *Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor*, The Physics Teacher **50**, 182-183 (2012).

[9] Lombardi, O., *Comparación entre la Física Aristotélica y la Mecánica Clásica*, Educación en Ciencias **1**, 62-70 (1997).

[10] Gil, S., *Experimentos de Física usando TIC y elementos de bajo costo*, (Alfaomega, Buenos Aires, 2014).

[11] Garcia-Molina, R., *Cinco experiencias sencillas de física moderna*, Revista Alambique [Didáctica de las Ciencias Experimentales] **75**, 30-35 (2013).

[12] Leike, A., *Demonstration of the exponential decay law using beer froth*, European Journal of Physics **23**, 21-26 (2002).

[13] Pinilla E. C., Ramírez O. L., Fajardo F., *Estudio experimental del decaimiento radiactivo usando analogías clásicas*, Revista de Física [Universidad Nacional de Colombia] **27**, 41-60 (2003).

[14] Saba, M. M. F., da S. Rosa, R. A., *The Doppler Effect of a Sound Source Moving in a Circle*, The Physics Teacher **41**, 89-91 (2003).

[15] Di Laccio, J. L., Ferrón, M., Gil, S., Alonso Suárez, R., *Efecto Doppler: ¿Cómo obtenemos evidencias de la existencia de este fenómeno?*, I Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias Básicas, 2016.

[16] Fernandes, A. C. P., Auler, L. T. S., Huguenin, J. A. O., Balthazar, W. F., *Efeito Doppler com tablet e Smartphone*, Revista Brasileira de Ensino de Física **38**, e3504 (2016).

[17] Wörner, C. H., Rojas, R., *Efecto Doppler con una fuente que acelera: una simple aproximación gráfica*, Revista Brasileira de Ensino de Física **38**, e4310 (2016).

[18] Giménez, M. H., Vidaurre, A., Riera, J., Monsoriu, J. A., *Visualizing the Doppler Effect*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **2**, 37-39 (2008).

[19] Wikipedia: Spectrogram, s.f., <<https://en.wikipedia.org/wiki/Spectrogram>>, consultado el 14 de agosto de 2016.

[20] Sitio de Descarga: Spectrograma, s.f., <<http://spectrogram.software.informer.com/16.0/>>, consultado el 14 de agosto de 2016.

[21] Pereira da Silva, W., Pereira da Silva, C., xyExtract Graph Digitizer, s.f., <http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/index_xyExtract.htm>, consultado el 14 de agosto de 2016.

[22] Monsoriu, J. A., *Oscillations studied with the smartphone ambient light sensor*, European Journal of Physics **34**, 1349-1354 (2013).

[23] Kuhn, J. & Vogt, P., *Analyzing spring pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor*, The Physics Teacher **50**, 504-505 (2012).

[24] Vogt, P. & Kuhn, J., *Analyzing simple pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor*, The Physics Teacher **50**, 439-440 (2012).

[25] Vieira L. P., Lara V. O. M., Amaral D. F., *Demonstracao da lei do inverso do quadrado com o auxilio de um tablet/Smartphone*, Revista Brasileira de Ensino de Física **36**, 3505 (2014).