



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

Salvador Gil¹ 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.

E-mail: sgil@unsam.edu.ar

(Recibido el ####; aceptado el ####) [Las fechas serán añadidas por el editor]

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: low cost laboratories, experiments, new technologies, ICT.

PACS: 7.05.-t, 01.50.H, 43.58.+z, 01.50.Lc, 01.50.My, 01.50.Pa 01.50.Lc, 01.50.My, 07.05.Hd, 45.20.Dd, 45.40.Cc

ISSN 1870-9095is

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/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

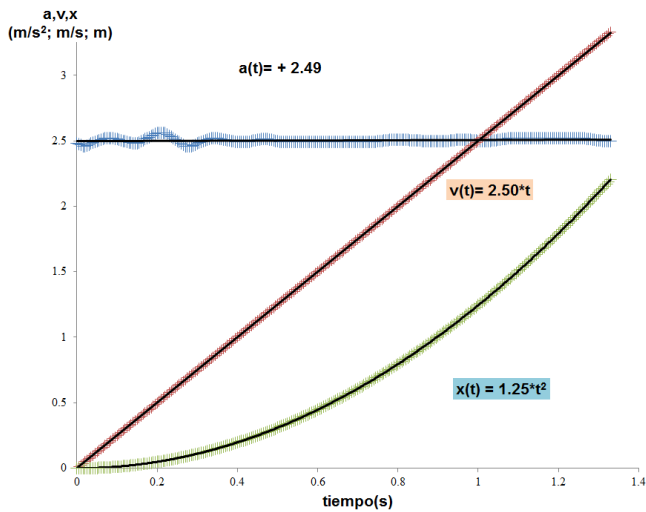
La descripción de los movimientos está presente en cualquier curso introductorio de mecánica de nivel básico de física. Nuestros alumnos, en general, presentan dificultades para comprender los gráficos de aceleración, velocidad y posición y más aún cuando quieren asociarlos a las ecuaciones horarias 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.

1 **Resultados**

2 La aceleración del carro, como es de esperar, es constante.
 3 Dado que la trayectoria es una línea recta se lo puede
 4 clasificar en movimiento rectilíneo uniformemente variado.
 5 En la Fig. 2 se presentan los resultados obtenidos.
 6



7
 8 **FIGURA 2.** Posición, velocidad y aceleración para un carrito que
 9 desciende por un plano inclinado. En líneas continuas negras los
 10 ajustes.

11 **Conclusiones**

12 La aceleración es constante: $a(t)=2.49 \text{ m/s}^2$, la velocidad es
 13 $v(t)=2.50*t$ y la posición $x(t)=1.25*t^2$. Si el sistema no
 14 tuviera rozamiento deberíamos esperar una aceleración de
 15 2.54 m/s^2 un valor menor indica la presencia de un roce
 16 mínimo entre las ruedas del carro y el plano inclinado. Los
 17 polinomios obtenidos son conocidos por los estudiantes de
 18 secundaria y estudiados en los cursos paralelos a
 19 matemática pero en general no asocian este conocimiento a
 20 los conceptos físicos. Este experimento es muy útil para
 21 comprenderlos. Este estudio puede complementarse con un
 22 estudio dinámico, y consideraciones energéticas, para esto
 23 basta con conocer la masa del sistema [7]. También puede
 24 implementarse usando una bicicleta, patineta u otro
 25 elemento que sea de interés para el alumno.
 26

27 **Experimento 2:** Estudio de la caída libre

28 En este experimento estudiamos la caída libre y usamos dos
 29 smartphones [8]. Primero dejamos caer uno solo y luego los
 30 adherimos a los dos y nuevamente los dejamos caer. El
 31 cambiar la masa de un objeto que cae permite recrear la
 32 confrontación de ideas aristotélicas y galileanas sobre este
 33 punto [9,10].
 34

35 **Materiales y métodos**

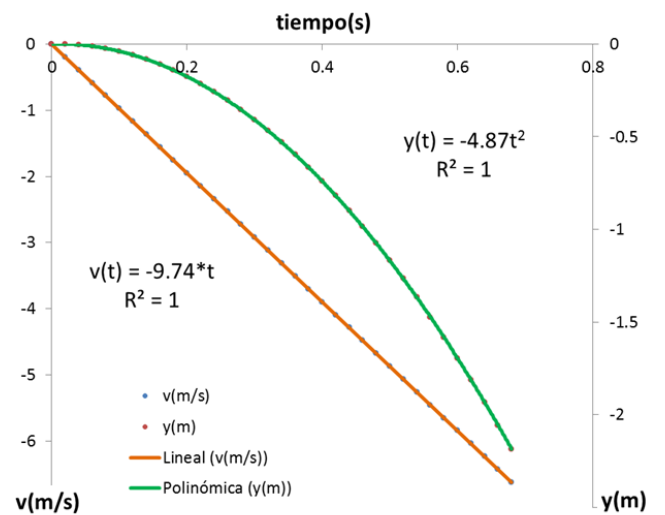
36 El equipamiento para realizar este experimento consiste de
 37 dos smartphone. La idea central es dejar caer un
 38 smartphone sobre una almohada, colchón o similar desde
 39 una altura de alrededor de 2.0 m primero y luego los dos
 40 juntos. Luego analizar si existe o no cambio de aceleración
 41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

45 **Resultados**

46 No se obtienen cambios significativos en el valor de la
 47 aceleración, aquí debe tenerse la precaución de que los
 48 smartphones realmente describan una trayectoria recta
 49 evitando que pequeños giros lleven a conclusiones
 50 erróneas. Para uno de los casos, caída de un solo celular, en
 51 las Fig. 3 y 4 se muestran la aceleración, velocidad y altura
 52 en función del tiempo. En este caso el mejor valor de la
 53 aceleración gravitatoria se obtuvo como el promedio de las
 54 aceleraciones en el intervalo identificado de la caída, su
 55 valor es 9.74 m/s^2 . Para obtener la velocidad y posición en
 56 función del tiempo se usan las ecuaciones (3) y (6) en una
 57 hoja de cálculo.
 58



59 **FIGURA 3.** Aceleración en función del tiempo en trazo continuo
 60 de color anaranjado. A modo ilustrativo en la imagen de fondo del
 61 gráfico se aprecia cuando se suelta el smartphone y se mide con
 62 otro smartphone la altura usando la aplicación Smart Measure. El
 63 óvalo en líneas de punto indica la caída libre del Smartphone.
 64



66 **FIGURA 4.** En trazo continuo anaranjado la velocidad de caída
 67 ajustada con una recta y con círculos azules los datos obtenidos.
 68 En trazo continuo verde la altura en función del tiempo ajustada
 69 con una parábola y con círculos rojos los datos generados.
 70

71 **Conclusiones**

72 La actividad permite que los alumnos comprendan las ideas
 73 de Aristóteles y las confronten con las ideas de Galileo
 74 entendiendo que el tiempo de caída de los cuerpos (en el
 75 aire y en las condiciones del experimento) no depende del
 76

1 peso de los cuerpos ya que las aceleraciones medidas son
2 prácticamente iguales. A partir de la aceleración y las
3 condiciones iniciales se obtienen funciones adecuadas para
4 la velocidad y posición en función del tiempo. La altura de
5 caída medida directamente y usando la ecuación de la
6 posición evaluada en el tiempo de caída difieren en un 5%.

7 Los alumnos trabajan motivados por la actividad y
8 consolidan sus conocimientos de cinemática, a la par de
9 mejorar los procedimientos de procesamiento de datos.

10 Este experimento es de fácil reproducción en el hogar y
11 puede ser perfectamente una actividad complementaria al
12 trabajo de aula. El smartphone permite medir con buena
13 precisión el tiempo de caída ya que no introduce el tiempo
14 de reacción del experimentador. También podría usarse el
15 smartphone para grabar audio y realizar este estudio
16 mediante sonido, ver propuesta en la referencia [10].

18 Experimento 3: Decaimiento de la espuma de cerveza.

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

$$22 \quad N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (7)$$

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

$$27 \quad t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (8)$$

28 Estos conceptos que pueden parecer sencillos no lo son
29 para nuestros alumnos y en el mejor de los casos logran
30 operar con las relaciones matemáticas pero sin entender los
31 conceptos involucrados. En esta propuesta se presenta un
32 experimento para enseñanza media, de fácil implementación
33 y sin riesgos de exposición a fuentes radiactivas, que puede
34 ser usado como una analogía para el aprendizaje de la
35 desintegración radiactiva [11,12,13]. El smartphone se
36 incorpora como registro del proceso a través de su cámara
37 fotográfica y luego para obtener de las fotografías la altura
38 de la espuma con la aplicación Pantalla gobernante. Los
39 conceptos arriba descritos les resultan más comprensibles
40 a nuestros alumnos si se tiene un puente entre los conceptos
41 abstractos de la desintegración radiactiva y el proceso de
42 aniquilación de las burbujas de la espuma de la cerveza, ese
43 puente podría ser este experimento.

45 Materiales y métodos

46 El equipamiento es: un vaso cilíndrico de sección uniforme,
47 una lata de cerveza, un smartphone con una aplicación
48 capaz de medir longitudes en la pantalla, una regla, un reloj
49 y opcionalmente una PC. Antes de iniciar el experimento
50 medimos la temperatura de la cerveza y el diámetro del
51 recipiente, reconociendo que este proceso puede depender
52 de la temperatura y lo que se reduce en realidad es el
53 volumen que al tener sección constante va variando
54 directamente con la altura. Sobre una mesa colocamos el
55 vaso, la regla y el reloj y vertimos cerveza con una buena
56 espuma. Comenzamos a fotografiar, puede ser útil un
57 trípode para mantener el smartphone fijo, el proceso. Luego

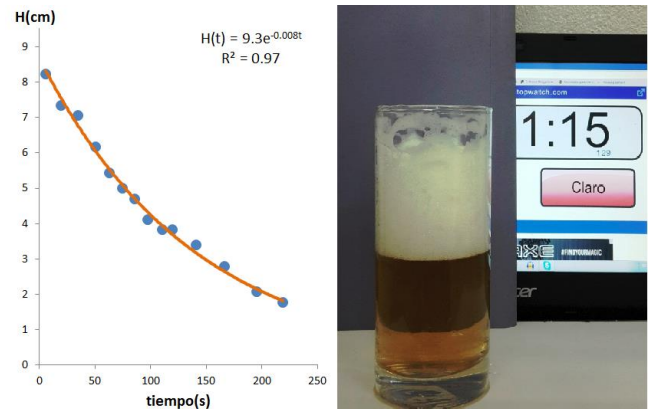
58 de obtener todas las imágenes obtenemos las diferentes
59 alturas con su incertidumbre (incertidumbre principalmente
60 de indefinición). Se puede mejorar esta incertidumbre
61 colocando sobre la espuma una pequeña lámina, de por
62 ejemplo acetato, para uniformizar la espuma al descenso.
63 Finalmente graficamos altura de la espuma en función del
64 tiempo y con el ajuste adecuado determinamos la constante
65 de desintegración de las burbujas de la espuma y su vida
66 media.

68 Resultados

69 Con el gráfico de la altura (H) de la espuma como función
70 del tiempo (t) y un ajuste exponencial se determina la
71 constante de desintegración de la espuma y la vida media.
72 En las Fig. 5 y 6 se presentan los resultados obtenidos.

73 La constante de desintegración, usando la linealización de la
74 ecuación (7) es: $\lambda = (8.0 \pm 0.5) \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$. La incertidumbre en
75 la vida media se puede obtener graficando $\ln(H(t)/H_0)$
76 como función de t . Usando las técnicas usuales de regresión
77 lineal, se pueden obtener incertezas en los parámetros de la
78 ley exponencial [10]. El tiempo de vida media, usando la
79 ecuación (8) es: $t_{1/2} = (86 \pm 4)$ s.

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



85 **FIGURA 5.** Se representa la altura como función del tiempo para
86 el vaso con símbolos circulares azules. La línea continua
87 anaranjada es el ajuste exponencial de los datos. Las barritas
88 blancas corresponden a la incertidumbre principal en la altura.
89

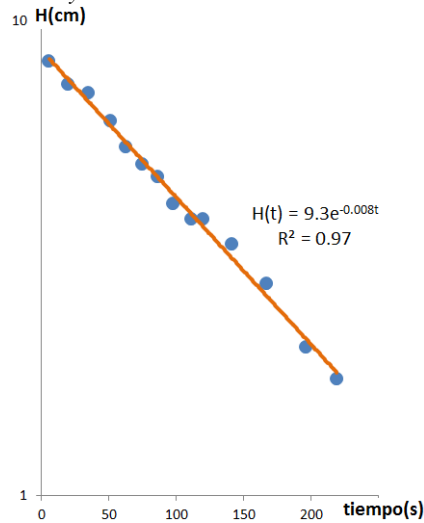


FIGURA 6. En este gráfico se usa escala semilogarítmica en la cual los comportamiento exponencial se linealiza.

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 (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:

$$f_{Obs} = f_{fuente} \frac{c \pm v_{Obs}}{c \mp v_{fuente}} \quad (9)$$

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:

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

Donde ω_z es la velocidad angular del bulbo del péndulo respecto del punto de sujeción, L el largo 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.

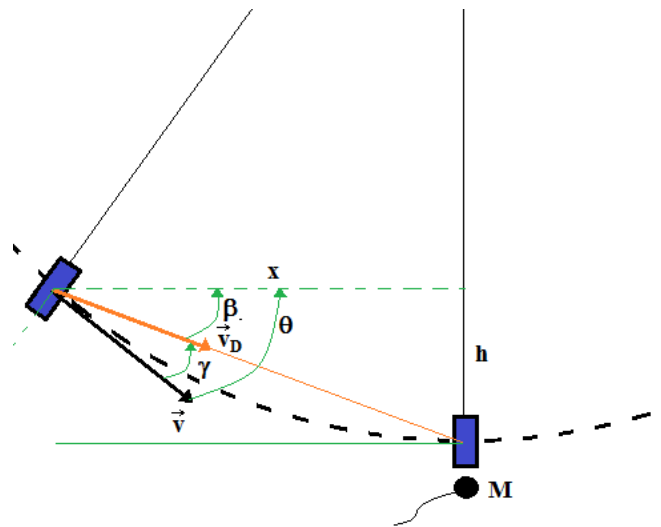


FIGURA 7. Esquema que permite identificar cual es la velocidad de acercamiento o alejamiento (en color anaranjado) del smartphone respecto del micrófono (M) estacionario.

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 1.80 m 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).

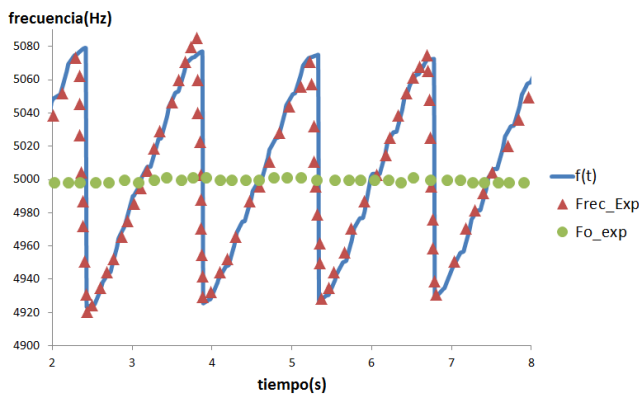


FIGURA 8. Con círculos verdes la frecuencia emitida por uno de los dos smartphone que actúan como bulbo del péndulo, que es grabada con el otro smartphone. Con triángulos rojos la frecuencia obtenida con el micrófono conectado a la PC y con trazo azul continuo el modelo teórico de la ecuación (10).

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.

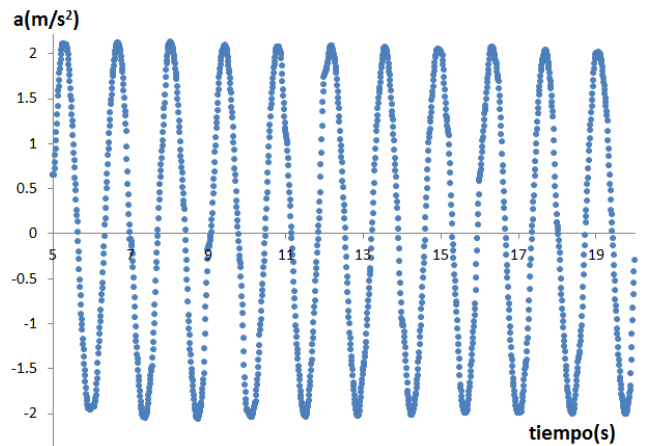


FIGURA 9. Aceleración como función del tiempo, los períodos de oscilación pueden identificarse con facilidad.

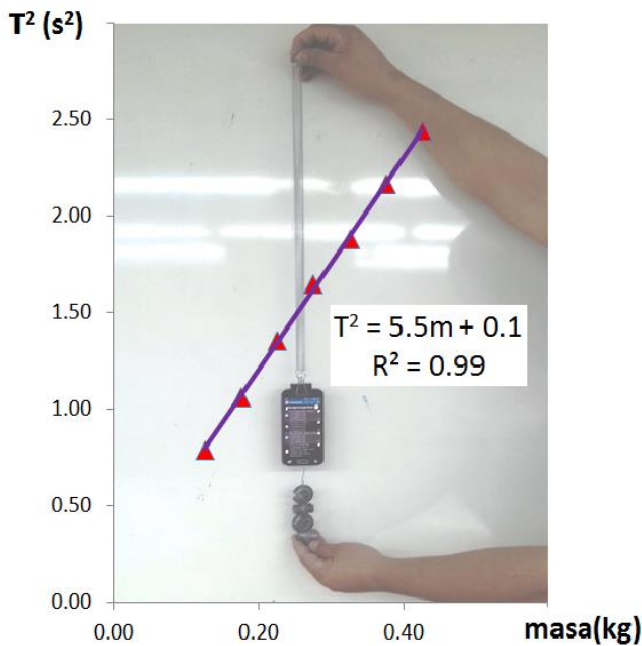
Se puede apreciar como fácilmente se puede extraer de la gráfica el valor promedio del período de oscilación. Aquí hemos tomado el tiempo de diez oscilaciones completas y el período es este tiempo dividido diez. Sin embargo, ajustando una función sinusoidal a los datos, este período y/o frecuencia se 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 Fig. 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 ± 0.2) 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.

1 Conclusiones

2 Más allá de la precisión de los resultados este experimento
 3 muestra que el smartphone es un instrumento muy
 4 adecuado para estudiar las oscilaciones. Si bien aquí se
 5 presenta el caso del sistema de masa y resorte el péndulo
 6 simple es un sistema que también es de muy fácil estudio
 7 con el smartphone. Si pensamos en contextos al aire libre
 8 podemos estudiar oscilaciones del motor de un vehículo, las
 9 oscilaciones de un columpio, las vibraciones de una barra,
 10 entre otras.



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

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

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

20 P_0 es la potencia emitida por la fuente y r es la distancia
 21 desde la fuente puntual al lugar donde se quiere conocer la
 22 intensidad de la onda. En este experimento cotejamos la ley
 23 usando un par de smartphones, donde uno actúa como
 24 fuente y el otro como sensor de luz [25]. Para ello se grafica
 25 la iluminación obtenida con el sensor del smartphone,
 26 menos la iluminación de fondo, en función del inverso del
 27 cuadrado de la distancia comenzando.

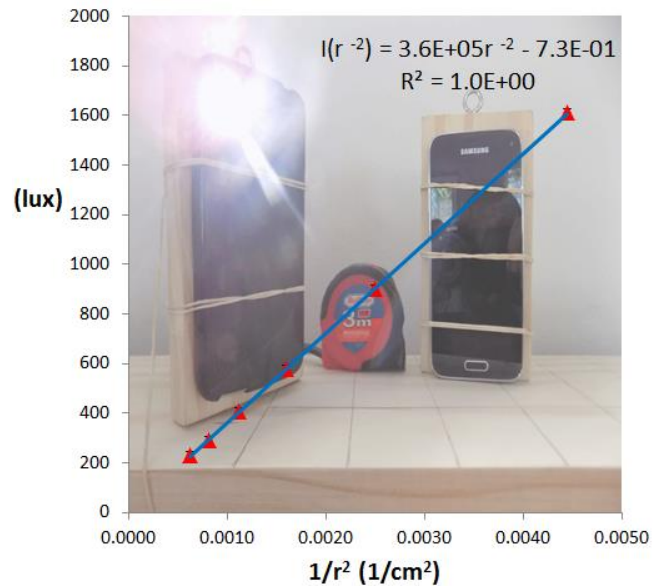
31 Materiales y métodos

32 Se utilizando dos teléfonos inteligentes, un banco de óptica
 33 con marcas cada 5.0 cm y dos soportes de madera para
 34 enfrenar correctamente la fuente emisora y el sensor de luz
 35 de forma tal de facilitar la medida de la distancia entre
 36 ellas. En un cuadro de datos se registran la iluminación en
 37 lux y la distancia de la fuente al sensor iniciando desde 15.0

38 cm de la fuente y alejándonos 5.0 cm cada vez. Iniciar a
 39 15.0 cm nos ayuda a considerar al fuente (flash) como
 40 relativamente puntual.

41 Resultados

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



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

54 Conclusiones

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

62 III. CONCLUSIONES

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

75 AGRADECIMIENTOS

76 Agradecemos a la Asociación Física Argentina por el
 77 subsidio INVOFI.

1 REFERENCIAS

- [1] Calderón S., Núñez P., Di Laccio J.L., Mora Iannelli L., Gil S. *Aulas-laboratorios de bajo costo, usando TIC*. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias 12, nº 1 (2015): 212-226.
- [2] PhoneLabs. [phonelabs.net](http://www.phonelabs.net/). Sensibility Pty Ltd. 2016. <http://www.phonelabs.net/> (último acceso: 1 de 5 de 2016).
- [3] Ambrosio A. *Smartphone: un laboratorio in tasca, non solo in classe*. DIDATTICA DELLE COMPETENZE CON LE TIC, nº 2 (2016): 8-14.
- [4] Garrao, R. Buzzo. *Estrategia EE (Excel-Euler) en la enseñanza de la Física*. American Journal Physics Education 1, nº 1 (2007): 19-23.
- [5] Countryman C.L. *Familiarizing Students with the Basics of a Smartphone's Internal Sensors*. The Physics Teacher, nº 52 (2014): 557-559.
- [6] Kuhn J., Vogt P. *Applications and Examples of Experiments with Mobile Phones and Smartphones in Physics Lessons*. Frontiers in Sensors, 2013: 67-73.
- [7] Monteiro M., Stari C., Cabeza C., Marti A. C. *The Atwood machine revisited using smartphones*. The Physics Teacher 53, nº 6 (2015): 373-374.
- [8] Vogt P., Kuhn J. *Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor*. The Physics Teacher, nº 50 (2012): 182-183.
- [9] Lombardi, O. *Comparación entre la Física Aristotélica y la Mecánica Clásica*. Educación en Ciencias, 1997: 62-70.
- [10] Gil S. *Experimentos de Física usando TIC y elementos de bajo costo*. Buenos Aires: Alfaomega, 2014.
- [11] Garcia-Molina R. *Cinco experiencias sencillas de física moderna*. Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales, 2013: 30-35.
- [12] Leike, A. *Demonstration of the exponential decay law using beer froth*. European Journal of Physics, 2002: 21-26.
- [13] Pinilla E. C., Ramírez O. L., Fajardo F. *Estudio experimental del decaimiento radiactivo usando analogías clásicas*. Revista de Física, 2003: 41-60.
- [14] Saba M. M. F., da S. Rosa R. A. . *The Doppler Effect of a Sound Source Moving in a Circle*. The Physics Teacher, 2003: 89-91.
- [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, 2016: e3504(1-8).
- [17] Wörner C.H., Rojas R. . *Efecto Doppler con una fuente que acelera: una simple aproximación gráfica*. Revista Brasileira de Ensino de Física, 2016: e4310(1-4).
- [18] Giménez M.H., Vidaurre A., Riera J., Monsoriu J.A. *Visualizing the Doppler Effect*. American Journal Physics Education, 2007: 37-39.
- [19] Wikipedia: Spectrogram. s.f. <https://en.wikipedia.org/wiki/Spectrogram> (último acceso: 14 de Agosto de 2016)
- [20] Sitio de Descarga: Spectrograma. s.f. <http://spectrogram.software.informer.com/16.0/> (último acceso: 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 (último acceso: 14 de Agosto de 2016).
- [22] J.A., Monsoriu J. A. *Oscillations studied with the smartphone ambient light sensor*. EUROPEAN JOURNAL OF PHYSICS, 2013: 1349-1354.
- [23] Kuhn J., Vogt P. *Analyzing spring pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor*. The Physics Teacher, nº 50 (2012): 504-505.
- [24] Kuhn, Patrik Vogt and Jochen. *Analyzing simple pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor*. The Physics Teacher, 2012: 439-440.
- [25] Vieira L.P., Lara V.O.M., Amaral D.F. *Demonstracao da lei do inverso do quadrado com o auxílio de um tablet/smartphone*. Revista Brasileira de Ensino de Física, 2014: 3505(1-3).