



---

# Universidad de Valladolid

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN PROFESOR DE EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA Y BACHILLERATO,  
FORMACIÓN PROFESIONAL Y ENSEÑANZAS DE IDIOMAS

Especialidad en Física y Química

# Diseño de actividades de aprendizaje en ambientes informales basadas en dispositivos móviles personales

Autor:

**Andrés Benito Platón**

Tutores:

**Miguel Ángel González Rebollo**

**Manuel Ángel González Delgado**

## Resumen

Este trabajo propone dos actividades basadas en la realización de experimentos de física mediante el uso de teléfonos móviles inteligentes. Los alumnos de 2º de Bachillerato del IES José Jiménez Lozano de Valladolid realizaron estos experimentos. Después, fueron evaluados mediante un examen escrito, tras el cual rellenaron una encuesta de opinión sobre la actividad. Los resultados muestran que los alumnos no mejoran significativamente su rendimiento en el examen tras realizar el experimento. Sin embargo, el análisis de las respuestas a la encuesta sugiere que la realización de los experimentos podría ayudar a los estudiantes a mejorar su motivación, así como a desarrollar algunas habilidades que no se pueden evaluar mediante los exámenes habituales.

**Palabras clave:** experimentos, física, óptica, teléfonos móviles, sensores, m-learning

## Abstract

This project will propose two activities based on the development of experiments in physics by using smartphones. The experiments were carried out by the 2<sup>nd</sup> year Baccalaureate students of Jose Jimenez Lozano High School in Valladolid. After that, the students were assessed by a written exam and then, they were given an opinion survey in order to know their view about the activities. Once they had done the experiments, the results showed that the students did not improve their marks of the exam significantly. However, the outcomes of the survey suggest that their performance in the activities helped them to improve their motivation as well as to develop some skills which cannot be assessed with a standard exam.

**Key words:** experiments, physics, optics, smartphones, sensors, m-learning

## Contenido

1. Introducción .....	3
1.1. El teléfono móvil como herramienta de enseñanza – aprendizaje.....	5
1.1.1. Aplicaciones para realizar medidas físicas (Phyphox y Physics Toolbox Suite) ...	5
2. Planteamiento de la actividad.....	9
2.1. Contexto .....	9
2.2. Temporalización .....	12
2.3. Justificación pedagógica .....	13
2.4. Evaluación.....	15
3. Análisis de los trabajos entregados por los alumnos.....	16
3.1. Metodología del análisis realizado .....	17
3.2. Resultados del análisis.....	19
4. Análisis de las encuestas realizadas por los alumnos .....	25
5. Opinión del profesor de la asignatura.....	33
6. Líneas futuras de trabajo.....	35
7. Conclusiones.....	35
Anexo 1: Guiones de las prácticas.....	38
Anexo 2: Fundamento teórico de las prácticas.....	41
Anexo 3: Propuesta de experimento sobre la presión hidrostática .....	43
Anexo 4: Encuestas.....	46
Anexo 5: Examen.....	54
Anexo 6: Tabla de medias y correlaciones .....	56
Bibliografía .....	57

## 1. Introducción

Las tendencias educativas actuales predicen que el alumno tenga un papel más activo en el proceso de enseñanza-aprendizaje, siendo el profesor un mediador o guía en este proceso, más que un mero transmisor de conocimientos. Estas tendencias educativas se enmarcan en un modelo constructivista, en el que el alumno conecta sus conocimientos previos con las acciones presentes de manera que va construyendo su propio aprendizaje, un aprendizaje activo (Guerra, 2016).

En este proceso de aprendizaje autónomo del alumno se busca que este desarrolle funciones ejecutivas y “habilidades blandas”, como complemento de las “habilidades duras”.

Las funciones o habilidades ejecutivas (en inglés, *executive functions*) son un conjunto de procesos mentales que ayudan a conectar experiencias previas con acciones presentes (Montessori Tides School). Comprenden las capacidades mentales necesarias para formular metas, plantear cómo lograr alcanzarlas y desarrollar planes de forma eficaz (Lezak, 1982). En cuanto a las habilidades “blandas” o transversales (en inglés, *soft skills*) son los rasgos de carácter y las habilidades interpersonales que caracterizan a una persona en relación con los demás. Están relacionadas con las funciones ejecutivas y se suelen medir mediante un cociente EQ, o cociente de Inteligencia Emocional (en oposición al IQ). Tanto los *test* de inteligencia como los exámenes tradicionales suelen pasar por alto este tipo de habilidades, o en todo caso, no las miden de manera adecuada, y, sin embargo, parecen estar relacionadas con el éxito en la vida, razón por la cual están captando la atención de los empleadores (Heckman & Kautz, 2012; Han). Entre las funciones ejecutivas y las habilidades “blandas” destacan, sobre todo, las relativas al manejo de la tecnología, el establecimiento de objetivos o metas, la adaptación a los cambios, la recopilación de información, la capacidad para tomar decisiones, el emprendimiento, el liderazgo y la relación con los demás (Boyatzis & Kolb, 1995).

Por otro lado, las habilidades “duras” (en inglés, *hard skills*) son las que se suelen enseñar y evaluar en la enseñanza tradicional, es decir, las que se ajustan a lo dispuesto en el currículo académico. Aunque estén separadas de las habilidades blandas y de las funciones ejecutivas, debe tenerse en cuenta que para lograr un aprendizaje significativo de las habilidades duras

es necesario relacionar experiencias pasadas con las acciones presentes, por lo que se hace necesario desarrollar también las otras habilidades.

Las tecnologías de la información y comunicación pueden ser aprovechadas, en este sentido, para favorecer la autonomía del alumno y el aprendizaje de estas funciones ejecutivas y habilidades “blandas”, permitiendo que el estudiante tome un papel más activo en su aprendizaje, lo cual es especialmente relevante en las materias STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) (Livingstone, 2012; Lytras, Marouli, & Papadopoulou, 2016; Nistor, Gras-Velazquez, Billon, & Mihai, 2018).

En este contexto surge el *m-Learning*, es decir, el aprendizaje basado en dispositivos móviles, y con él se abre un gran abanico de posibilidades, pero también surgen muchas dudas y debates en torno a los beneficios o perjuicios de la aplicación de esta metodología. El *m-Learning* aprovecha las características tecnológicas de portabilidad, inmediatez, conectividad, ubicuidad y adaptabilidad de las que disponen los dispositivos móviles. Bien empleadas, estas tecnologías aportan muchas ventajas frente a la enseñanza tradicional, aunque también pueden surgir inconvenientes, siendo este un tema de investigación en auge, pero sobre el que aún no hay suficientes certezas (Koszalka & Ntloedibe-Kuswani, 2010). La ventaja principal que aporta el *m-Learning* es que los alumnos suelen disponer, cada vez más, de dispositivos móviles para su uso personal, y que el uso de estos puede ser, en principio, un elemento motivador en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Martin & Ertzberger, 2013; Kuhn & Vogt, 2015). Además, facilitan la formación a distancia (Cantillo Valero, Roura Redondo, & Sánchez Palacín, 2012). Como desventajas conviene señalar, sobre todo, que estos dispositivos son un elemento potencialmente distractor. Además, la gran variedad de estos dispositivos hace que no todos los alumnos posean móviles con capacidades similares y que, por lo tanto, no todos participen en el proceso en igualdad de condiciones. De hecho, incluso a pesar de la gran oferta de móviles que existe en el mercado, el precio sigue siendo elevado, y acaba condicionando las capacidades de cada terminal, lo que genera una clara desigualdad, que, además, afecta más a los alumnos que de por sí ya están en una situación de mayor riesgo (Organista-Sandoval, McAnally-Salas, & Lavigne, 2013; Alonso de Castro, 2014) .

### 1.1. El teléfono móvil como herramienta de enseñanza – aprendizaje

Son muchos los usos que se le pueden dar al teléfono móvil dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje. Existen multitud de aplicaciones con usos potencialmente educativos. Algunas de estas aplicaciones son menos interactivas y se ofrecen a modo de apuntes o enciclopedias de las diferentes asignaturas como *Physics Pro*, *Chemistry Pro*, *Formulia*, *Mendelevium* (aunque, a veces, incluyen test o calculadoras), mientras que otras permiten al usuario tener un papel más activo en su aprendizaje, incluyendo en esta categoría las apps de apoyo para resolver problemas como *WolframAlpha*, los videojuegos educativos como *Atomas* o la colección de juegos de Andrey Solovyev, así como las “aplicaciones-laboratorio”, como *Physics Toolbox* o *phyphox*. Son estas últimas las que han centrado la atención de este trabajo.

Mención aparte merecen todas las aplicaciones que puede usar el profesor para comunicarse con sus alumnos, llevar al día las notas, formular test, etc. En esta categoría podrían incluirse *WhatsApp*, *Google Classroom*, *Edmodo*, *Additio*, *iDoceo*, *Socrative*, *Kahoot* o *Classcraft*.

#### 1.1.1. Aplicaciones para realizar medidas físicas (Phyphox y Physics Toolbox Suite)

Como se acaba de indicar, este trabajo se centrará la utilización de aplicaciones como *phyphox* o *Physics Toolbox Suite* (ambas disponibles tanto en *Android* como en *iOS*), que hacen uso de los distintos sensores del teléfono móvil para medir variables físicas, de manera que se pueden llevar a cabo experiencias de laboratorio sin necesidad de utilizar un equipamiento específico para tal uso, del que, por diversas razones, no siempre se dispone en un instituto. De todas maneras, el uso de estas aplicaciones para llevar a cabo prácticas de laboratorio en ambientes informales o como método de ahorro económico en centros con menos posibilidades puede tener también inconvenientes (Organista-Sandoval, McAnally-Salas, & Lavigne, 2013; Alonso de Castro, 2014). Estos han sido señalados tanto por el profesor como por los alumnos en las encuestas de opinión, cuyos resultados se encuentran más adelante en este trabajo, en las secciones [análisis de las encuestas realizadas por los alumnos](#) y [opinión del profesor de la asignatura](#).

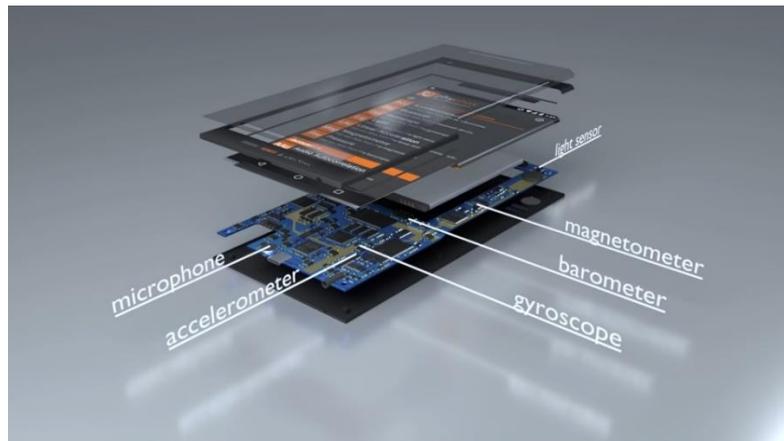


Figura 1 Sensores disponibles en un smartphone. Fuente: <https://youtu.be/xbafUQto5uk>

### Phyphox

*Phyphox* es, probablemente, la aplicación-laboratorio más completa e intuitiva. Ha sido creada por el 2nd Institute of Physics en la RWTH Aachen University. Con ella se pueden hacer medidas de posición (con el GPS), aceleración (con el acelerómetro), velocidad angular (con el giroscopio), amplitud y frecuencia del sonido (con el micrófono), campo magnético (con el magnetómetro), intensidad luminosa (con el sensor de luz), e incluso presión (con el barómetro), siempre y cuando el dispositivo disponga de los sensores apropiados y que se le concedan a la aplicación los permisos para usarlos. Además de poder tomar estos datos en bruto, la aplicación dispone de utilidades como un sónar, un generador de tonos, o cronómetros acústicos, ópticos, de movimiento y de proximidad.



Figura 2 Menú principal de la aplicación phyphox. Las funciones *Pressure* y *Elevator* no están disponibles en este caso, porque el móvil no dispone de barómetro

*Phyphox* permite crear experimentos personalizados usando el botón “+” que aparece abajo en la pantalla (ver [figura 2](#)). En estos experimentos personalizados se pueden utilizar varios sensores a la vez. Los resultados se pueden exportar a un archivo en formato xls o csv. *Phyphox* tiene una [web](#), una [wiki](#) y un [canal de Youtube](#) en el que se explica cómo realizar algunos experimentos con el móvil usando la aplicación. En la web, además, dispone de [guiones de prácticas ya preparadas \(en alemán\)](#).

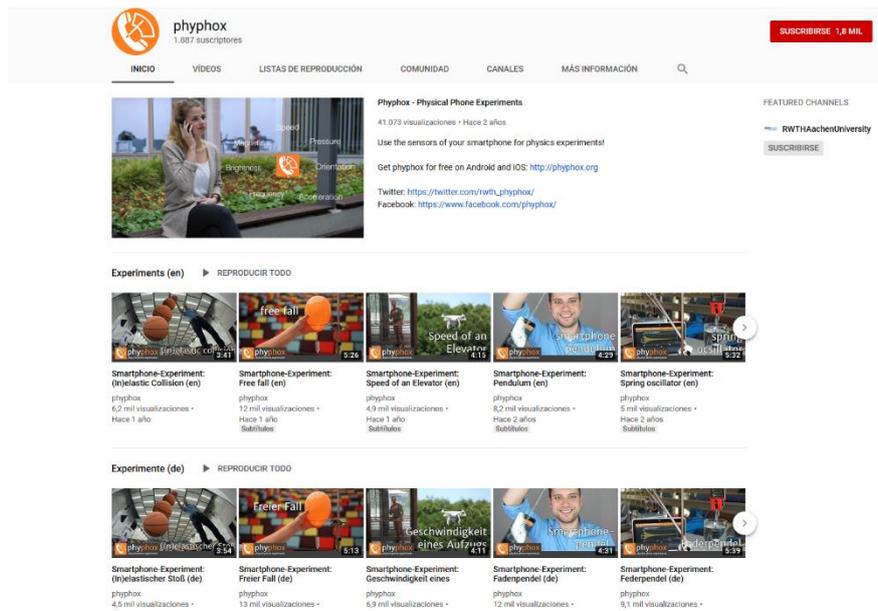


Figura 3 Canal de YouTube de phyphox

### *Physics Toolbox Suite*

*Physics Toolbox Suite* (de Vieyra Software) es una aplicación-laboratorio muy interesante porque ofrece, además de las medidas de las variables físicas, algunas utilidades interesantes como un osciloscopio, un estroboscopio, un espectrograma, y generadores de tonos y de colores. Además, tiene un apartado “Play” dedicado a que el propio usuario se “enfrente” a una serie de “desafíos”, que no son otra cosa que experimentos ya planteados por la aplicación, lo que puede facilitar la labor del profesor a la hora de idear las tareas.

Otro elemento destacable es que la aplicación *Physics Toolbox Suite* está traducida al español.

*Physics Toolbox Suite* también tiene una [web](#) y un [canal en Youtube](#) aunque no tan cuidado como el de *phyphox*.



Figura 4 Menú principal de la aplicación Physics Toolbox Suite y menú de los desafíos (a la derecha)

Para las actividades que se proponen en este trabajo, no hay ninguna diferencia entre usar una u otra aplicación, pues ambas tienen acceso a las medidas del sensor de luz para determinar la intensidad luminosa. Como se puede ver en la [figura 5](#), este dato lo pueden dar como valor numérico en tiempo real o como gráfica de evolución con el tiempo (en el caso de *phyphox* esto se hace simplemente cambiando entre las pestañas *Graph* y *Simple*, mientras que en el caso de *Physics Toolbox Suite* hay que ir al menú de configuración y elegir entre “Lectura Gráfica” o “Lectura Digital”). Para la práctica bastaba con tomar unos pocos datos, por lo que los alumnos podían hacer uso tanto de una opción como de la otra.

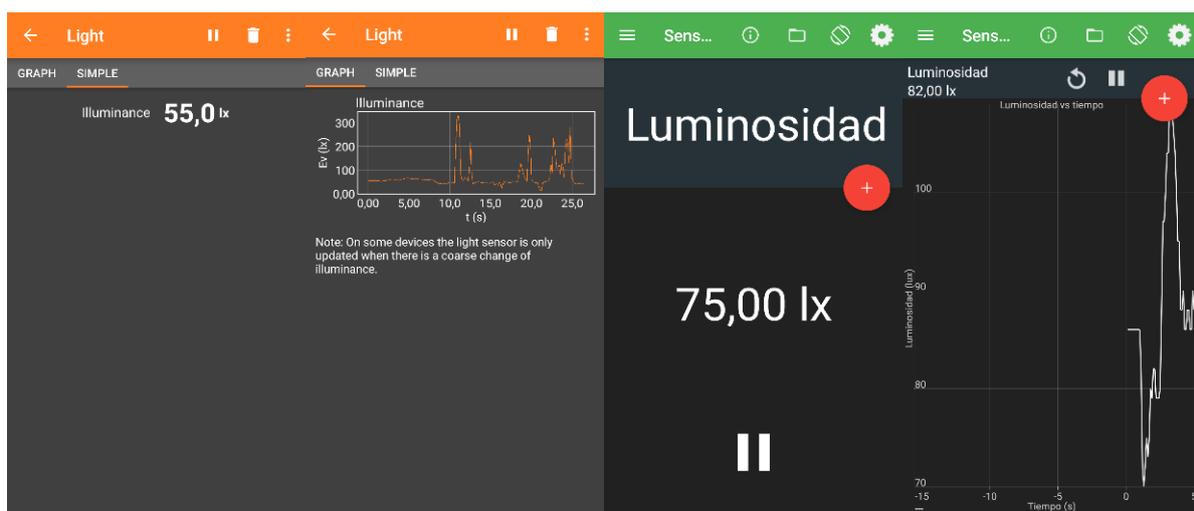


Figura 5 Medida de la luminosidad en Physics y Physics Toolbox en sus diferentes configuraciones

## 2. Planteamiento de la actividad

La actividad propuesta consiste en la realización de dos experimentos utilizando el sensor de luz del teléfono móvil como aparato de medida. Ya existen propuestas similares utilizando las mismas aplicaciones, pero, en la bibliografía consultada, no se ha encontrado una valoración acerca de su puesta en práctica con alumnos de instituto (Macchia, 2016; Salinas, Giménez, Monsoriu, & Castro-Palacio, 2018; Onorato, Gratton, Polesello, Salmoiraghi, & Oss, 2018; Bouquet, Dauphin, Bernard, & Bobroff, 2019).

A continuación, se detalla el contexto en el cual se plantea la actividad, así como la temporalización y la justificación pedagógica del mismo atendiendo a la normativa.

### 2.1. Contexto

Las chicas y chicos a los que se les propuso la actividad son los 22 alumnos de Física de 2º de Bachillerato del IES José Jiménez Lozano con edades comprendidas entre los 17 y 19 años. Estos 22 alumnos (19 chicos y 3 chicas) conforman el único grupo de 2º de Bachillerato que cursa la asignatura de Física durante el curso 2018-2019. La nota media del grupo durante el primer trimestre se acerca al notable, con 7 sobresalientes y tan solo 3 suspensos (ver [figura 6](#)). Dos de los alumnos están repitiendo 2º de Bachillerato, y otros dos tienen pendiente la asignatura de Física y Química de 1º de Bachillerato. La mayoría tiene intención de presentarse a la asignatura de Física en la Evaluación de Bachillerato para el Acceso a la Universidad (EBAU) (ver [figura 7](#)). Cabe destacar que la asignatura de Física es optativa en 2º de Bachillerato, por lo que se puede suponer que a los alumnos les resulta una asignatura interesante.

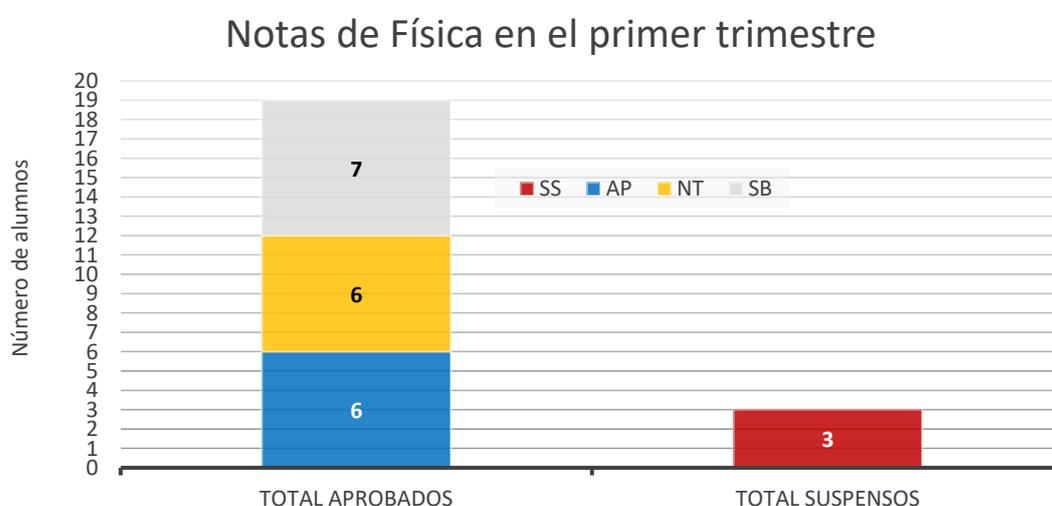


Figura 6 Distribución de las notas de Física de los alumnos en el primer trimestre de 2º de Bachillerato

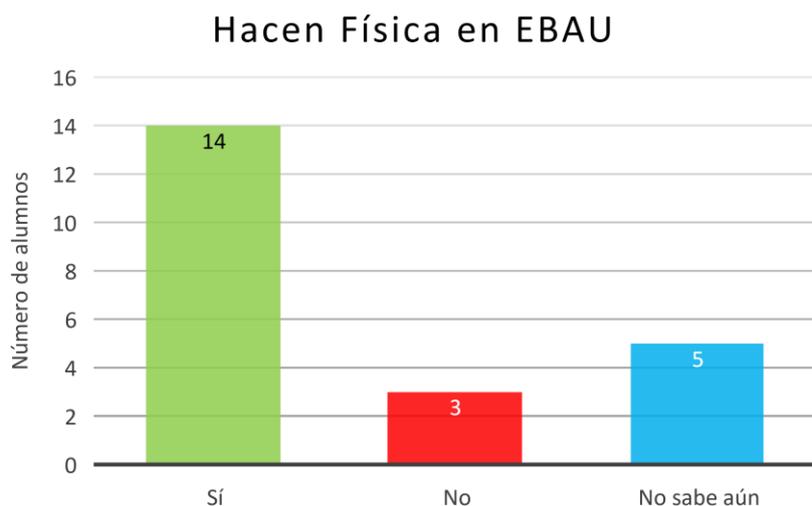


Figura 7 Distribución de alumnos según se presenten o no al examen de Física en la EBAU

En cuanto al centro, de acuerdo con el Proyecto Educativo, se trata de un instituto muy joven, que comenzó a funcionar en el curso 2009-2010, y que ha completado su oferta educativa en el curso 2014-2015. De tamaño medio, se ubica en el Barrio de Parquesol, en Valladolid. Sus alumnos proceden predominantemente de familias de clase media afincadas en este barrio, así como en el municipio de Arroyo de la Encomienda. El Proyecto Educativo señala que el porcentaje de alumnos procedentes de “familias inmigrantes, minorías étnicas o familias con grave deterioro en su calidad de vida por motivos económicos” es bajo, circunstancia que “favorece notablemente el proceso de enseñanza-aprendizaje”. Por otra parte, existe un aumento significativo del número de familias monoparentales, lo que puede tener “implicaciones en el proceso educativo de estos alumnos”. Las madres y padres suelen trabajar como empresarios, funcionarios o trabajadores por cuenta ajena y tienen, en general, un nivel cultural medio o alto, lo que, sin embargo, no se traduce en algunos casos en un nivel cultural alto por parte del alumnado, pues se ha detectado un porcentaje significativo de alumnos que “hacen un uso muy deficiente y empobrecido del castellano”.

El centro cuenta con un proyecto bilingüe (“Step up”), a través del cual se imparten opcionalmente en inglés las asignaturas de Física y Química (Physics and Chemistry) de 3º y 4º de ESO y parte de la asignatura de Fundamentos de Submarinismo de 4º de ESO (materia optativa de libre configuración), pero la asignatura de Física de 2º de Bachillerato se ha cursado en castellano durante este curso (IES. José Jiménez Lozano, 2016).

De acuerdo con el Reglamento de Régimen Interno del Centro, el uso de dispositivos móviles en el centro está prohibido salvo en el caso en que el profesor dé una autorización expresa a los alumnos para utilizarlo. En este caso, la prohibición no supuso ningún problema, dado que el móvil se utilizó fuera del centro para realizar la actividad, aunque, de acuerdo con lo que se acaba de indicar, se podría haber utilizado dentro del centro sin incumplir el reglamento (IES José Jiménez Lozano, 2018).

El libro de texto utilizado es “Física 2º BACHILLERATO Ángel Peña Sainz J. A. García 978-84-486-09924 McGraw Hill Smartbook 2016/2017”. El profesor de esta asignatura utiliza el libro como guía para programar las clases, siguiendo las unidades didácticas en el orden que marca el libro, aunque los problemas que se resuelven en clase son, sobre todo, problemas de las pruebas de acceso a la Universidad de Castilla y León de años anteriores. En consecuencia, el libro se utiliza sobre todo como herramienta de consulta durante el estudio autónomo de los alumnos.

El centro dispone de un laboratorio dedicado exclusivamente para la asignatura de Física. Sin embargo, los alumnos a los que se dirigió la actividad han realizado bastantes más prácticas de Química que de Física y, de hecho, durante este curso solo han asistido una vez al laboratorio de Física, precisamente durante una sesión del tema de óptica, que es el que se impartió durante el desarrollo de la propuesta.

En cuanto a recursos informáticos, el profesor utiliza con bastante frecuencia el proyector, especialmente para mostrar vídeos de *YouTube* que amplíen los conocimientos impartidos durante la clase o que propongan problemas de Física más avanzados para después resolverlos en clase. Asimismo, una parte importante de las unidades didácticas impartidas durante la realización de los experimentos (las dos unidades de óptica) se transmitieron mediante PowerPoint.

Para llevar a cabo la evaluación en esta asignatura se realizan varios exámenes por trimestre, con preguntas obtenidas de exámenes de la selectividad de Castilla y León de años anteriores. En estos exámenes se incluyen problemas o cuestiones de unidades anteriores a la unidad correspondiente, de manera que sirvan de preparación para el examen de EBAU. En este sentido, la evaluación se realiza, además, de tal forma que cada trimestre tiene más peso que el anterior en la nota final. Así pues, la nota del primer trimestre tiene un peso de 25% en la

nota final, la del segundo trimestre, de 35% y la del tercer trimestre, de 40%. En la evaluación de cada trimestre, se tiene en cuenta, además de la media de los exámenes (que cuenta un 90% de la nota trimestral), una nota de actitud (un 10% de la nota del trimestre).

## 2.2. Temporalización

Anteriormente, los alumnos ya habían recibido una clase del tema de movimiento ondulatorio en la que se les explicó los conceptos de atenuación (ley del inverso del cuadrado de la distancia) y absorción. La actividad comenzó con un repaso de unos 10 minutos de ambos conceptos, sin entrar a fondo en detalles sobre la forma de las ecuaciones que rigen dichos fenómenos. Asimismo, se presentaron las dos tareas que se iban a realizar mediante una pequeña explicación sobre el procedimiento a seguir para tomar las medidas.

Tras esto, se repartieron los guiones de las prácticas. La mitad de la clase recibió la tarea titulada “práctica 1”, mientras que la otra mitad recibió la tarea titulada “práctica 2” (los guiones se pueden consultar en el [anexo 1: guiones de las prácticas](#)). Para realizar la tarea se les dio la posibilidad de juntarse en parejas, lo que algunos aprovecharon para intercambiarse guiones y hacer así el experimento con el compañero que querían. Se les dio un plazo máximo de 11 días para la entrega, con el fin de que tuvieran dos fines de semana para hacerlo. El plazo se amplió a dos días más para los alumnos que aún no lo habían entregado y que prometieron hacerlo en ese plazo ampliado (aunque finalmente no lo hicieron). Así pues, después de dos semanas, se recogieron un total de siete memorias individuales de la práctica 1, dos memorias individuales de la práctica 2, y tres memorias en pareja de la práctica 2. En conclusión, de los 22 alumnos, 15 entregaron la tarea, de los cuales tan solo 6 trabajaron en pareja.

Después de la entrega, se evaluaron los trabajos mediante una rúbrica dando una puntuación máxima de 1 punto para aquellos que cumplieron con todos los estándares que se detallan en esta. El día en que se entregaron los trabajos corregidos a los alumnos, se explicó en clase cómo había que responder correctamente a lo exigido en el guion y se repasó la teoría de las leyes físicas involucradas en los experimentos.

Posteriormente, tras finalizar las unidades didácticas de óptica, se realizó un examen de estas (disponible en el [anexo 5: examen](#)) incluyendo dos ejercicios en los que había que aplicar las leyes físicas de atenuación y absorción de la luz, relacionadas con los experimentos

propuestos. Cada uno de estos ejercicios puntuaba un máximo de 1 punto sobre la nota final del examen, de tal forma que el examen junto con la memoria de la práctica tenía una puntuación máxima de 10 puntos, de los cuales 3 eran relativos a los contenidos de las prácticas. Al final del examen los alumnos realizaron una “encuesta sobre el uso de dispositivos móviles en el proceso de enseñanza-aprendizaje”, cuyo contenido se detalla en el [anexo 4: encuestas](#), en la que se les pidió comentar su experiencia durante la realización de la práctica, así como otros datos que pueden tener interés a la hora de examinar los beneficios de esta actividad frente a los de una enseñanza más tradicional.

Los guiones de las prácticas y los enunciados del examen se encuentran disponibles en el [anexo 1: guiones de las prácticas](#) y en el [anexo 5: examen](#).

### 2.3. Justificación pedagógica

Con esta actividad se pretende enseñar el siguiente contenido: “Atenuación y absorción de una onda”. La orden EDU 363/2015 indica el siguiente estándar de aprendizaje evaluable para parte de ese contenido: “calcula la intensidad de una onda a cierta distancia del foco emisor, empleando la ecuación que relaciona ambas magnitudes”, pero no especifica ningún estándar de aprendizaje evaluable para la parte de “absorción de una onda”. Con esta actividad se pretende cubrir el contenido de forma completa, y, ante lo que parece un error de omisión (voluntario o no) por parte de la legislación, se ha optado por “diseñar” un estándar de aprendizaje análogo al anteriormente indicado, pero para el fenómeno de absorción, que sería el siguiente: “calcula la intensidad de una onda tras interactuar con un cierto espesor de material absorbente, empleando la ecuación que relaciona ambas magnitudes”.

Asimismo, se ponen en práctica contenidos del “Bloque 1: La actividad científica” (Junta de Castilla y León, 2015), destacando, sobre todo, los siguientes:

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables	Competencias clave
<b>El proceso de medida. Características de los instrumentos</b>	Reconocer y utilizar las estrategias básicas de la	Aplica habilidades necesarias para la investigación científica, planteando preguntas, identificando y analizando problemas, emitiendo hipótesis fundamentadas, recogiendo datos,	CL, CMCT, AA

<b>de medida adecuados.</b>	actividad científica.	analizando tendencias a partir de modelos, diseñando y proponiendo estrategias de actuación.	
<b>Representación gráfica de datos experimentales. Línea de ajuste de una representación gráfica.</b>		Elabora e interpreta representaciones gráficas de dos y tres variables a partir de datos experimentales y las relaciona con las ecuaciones matemáticas que representan las leyes y los principios físicos subyacentes.	CMCT
	Conocer, utilizar y aplicar las Tecnologías de la Información y la Comunicación en el estudio de los fenómenos físicos.	Analiza la validez de los resultados obtenidos y elabora un informe final haciendo uso de las TIC comunicando tanto el proceso como las conclusiones obtenidas.	CL, CMCT, CD

*Tabla 1 Contenidos, criterios de evaluación, estándares de aprendizaje evaluables y competencias clave que se pretenden cubrir con la propuesta*

Son estos contenidos, de hecho, sobre los que se ha querido incidir con esta actividad, pues se ha detectado una falta de trabajo experimental en este grupo de alumnos, algo que parece ser generalizado en ESO y Bachillerato en España. Esto supone un obstáculo importante a la hora de lograr un desarrollo íntegro del aprendizaje del alumno en las materias STEM, y en concreto, en las asignaturas de Física y Química, pues el laboratorio es un importante recurso (aunque no el único) para el aprendizaje de los contenidos procedimentales (es decir, los contenidos “metacognitivos” o destrezas), y, a pesar de que los profesores de los institutos españoles reconocen la importancia de este, no se está haciendo un uso de él, principalmente, por dificultades de organización de los centros, por lo extenso que es el temario teórico, y por falta de material (de Pro Bueno, 1998; Insausti & Merino, 2000; Tárraga Poveda, Bechtold, & de Pro Bueno, 2007; Medina-Medina, 2014; Lytras, Marouli, & Papadopoulou, 2016; Nistor,

Gras-Velazquez, Billon, & Mihai, 2018). Además, los alumnos no están habituados a interpretar gráficas, ni mucho menos a representarlas (García García & Perales Palacios, 2007). Estos problemas pueden esquivarse, en parte, mediante el planteamiento de tareas para casa basadas en el uso del teléfono móvil como herramienta de laboratorio, tales como las que se proponen en este trabajo. De esta forma, los profesores pueden dedicar más parte de su tiempo en el aula a la enseñanza teórica y más tradicional, mientras que los alumnos pueden dedicar su tiempo de trabajo en casa para los contenidos experimentales de la asignatura, evitando que estos dependan de los recursos y de las necesidades organizativas del instituto. En cualquier caso, con este trabajo se quiere reivindicar, también, la realización de prácticas de laboratorio en clase, que a veces se abandonan o se dejan en un segundo plano, por lo que los experimentos con teléfonos móviles deben ser un complemento, y no un sustituto, de las prácticas de laboratorio tradicionales.

Con este espíritu se ha planteado la actividad y, por ello, esta se ha centrado en que los alumnos aprendan a realizar el informe de una práctica de laboratorio, poniendo como excusa los fenómenos de atenuación y absorción de ondas de luz, pero enfocando la evaluación de la actividad en la parte experimental.

#### 2.4. Evaluación

La siguiente tabla muestra la rúbrica utilizada para evaluar las memorias entregadas por los alumnos tras realizar las prácticas:

<b>Estándar de aprendizaje evaluable</b>	Realiza un montaje correcto. Adjunta en el informe una fotografía del montaje.	Traslada los datos de las mediciones a una tabla, acompañando las magnitudes de sus unidades correspondientes.	Realiza correctamente las gráficas que se piden en el guion	Hace referencia a la ley física que explica el fenómeno observado y discute correctamente las preguntas que se plantean en el guion
<b>Puntuación máxima</b>	0,25	0,25	0,25	0,25

*Tabla 2 Rúbrica utilizada para la corrección de los trabajos entregados por los alumnos*

### 3. Análisis de los trabajos entregados por los alumnos

En primer lugar, hay que analizar el éxito de la propuesta en cuanto a la cantidad de alumnos que han realizado el trabajo. De los 22 alumnos, 15 entregaron la tarea (ver [figura 8](#)). La participación es, por lo tanto, mejorable, aunque para valorarla correctamente, habría que tener en cuenta si los 7 alumnos que no han realizado la práctica suelen mostrarse más o menos participativos en otras actividades.



Figura 8 Distribución de alumnos según la práctica asignada

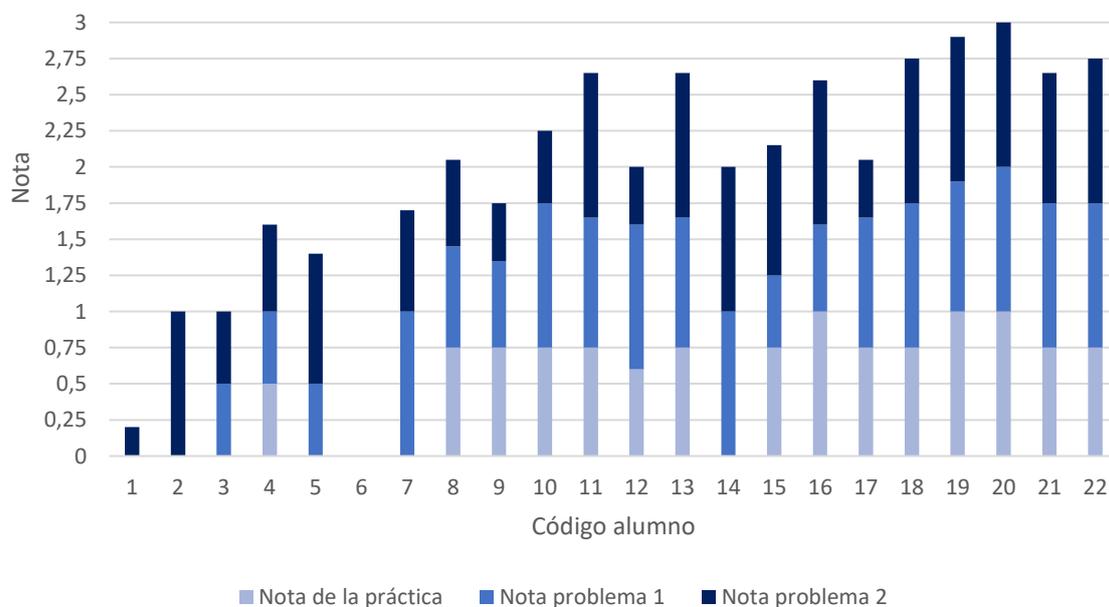


Figura 9 Notas de los alumnos en las prácticas y en los problemas 1 y 2 del examen. El número “código de alumno” fue asignado a cada estudiante atendiendo a un orden ascendente según la nota final del examen

Para determinar si las prácticas propuestas han dado lugar a una mejora del aprendizaje del alumno, se estudiará si las respuestas del examen mejoran en función de su desempeño en las prácticas. Como para hacer un buen análisis se necesitan datos lo más objetivo posibles, se utilizarán las notas obtenidas tanto en el examen como en la práctica realizada (ver [figura 9](#)). Evidentemente, se parte de la premisa de que las notas son objetivas, lo cual se puede suponer cierto, dado que las correcciones se han realizado en todo momento atendiendo a rúbricas objetivas, en las que se detalla de forma precisa cuánta puntuación se obtiene por cada elemento incluido en el informe (ver rúbrica en el apartado [evaluación](#)) o por cada respuesta correcta en el examen.

Una vez justificada la objetividad de los datos, se procede a realizar los promedios y las correlaciones oportunas, y a comprobar si estas últimas son estadísticamente significativas para darle validez a las conclusiones. De existir una correlación lineal positiva entre las calificaciones de la práctica y del problema correspondiente en el examen, podría afirmarse que, a mejor desempeño en la práctica, mejor desempeño en el examen. Hay que insistir en que la nota de la práctica tiene en cuenta cuatro estándares distintos, que valoran no solo la parte teórica y de comprensión, sino también la parte experimental y procedimental, por lo que ambas evaluaciones no son equivalentes y no sería extraño encontrar, tras el análisis, que no existe tal correlación, sin que ello implique que la actividad resulta inútil. En otras palabras, la forma objetiva que se ha utilizado para evaluar los beneficios, si existen, de esta actividad respecto a una enseñanza más tradicional, aun pudiendo ser la mejor posible, no tiene por qué resultar útil para evaluar todas las competencias que los alumnos aprenden con ella.

### 3.1. Metodología del análisis realizado

Para analizar los datos desprendidos de las encuestas y de las calificaciones (de los informes y de los exámenes) se ha llevado a cabo un análisis estadístico basado en el cálculo de promedios y correlaciones. La muestra del análisis estadístico está formada por los 22 alumnos. Idealmente, estos deberían ser representativos de toda la población, que la formarían todos los alumnos que cursan Física en 2º de Bachillerato en Castilla y León, que es la región para la que se propone la actividad (pues los contenidos se han extraído del currículo de dicha Comunidad Autónoma, como se ha detallado en la [justificación pedagógica](#)). Evidentemente, para poder extrapolar las conclusiones de este estudio a todo el alumnado de 2º de Bachillerato, habría que volver a realizar la actividad en institutos de barrios distintos y

con alumnas y alumnos más diversos. Los programas empleados para realizar el análisis y representar los datos han sido *Microsoft Excel* y *Statgraphics*.

En el caso de los informes y de los exámenes, los valores numéricos tratados en dicho análisis se han extraído directamente de los valores de las notas. En el caso de las encuestas, los valores numéricos se han obtenido a través de los valores señalados por los alumnos en las escalas de valoración de las encuestas. Cada variable en la encuesta puede tomar valores entre 1 y 5 (nada, poco, normal, bastante o mucho), excepto para las notas del primer trimestre en las que solo hay 4 valores posibles (suspense, aprobado, notable o sobresaliente), y para las repuestas binarias (sí o no).

Se han realizado tanto diagramas de barras y anillos como diagramas de dispersión. En los diagramas de anillos, se ha asignado un color diferente para cada valor posible, incluso cuando algún valor no haya sido seleccionado por ningún alumno en las encuestas (mostrándose entonces la posibilidad de su ocurrencia sobre la leyenda, aunque no se dé en el diagrama). Sobre los diagramas de dispersión se han representado rectas de regresión lineal, con el objetivo de representar posibles dependencias lineales entre las variables. Dado que un mismo par de respuestas puede darse en varios alumnos, los puntos se han representado mediante un color más intenso cuando se dan coincidencias, indicando, además, en ese caso, el número de veces que se repite el punto. Para la elección de los colores, se ha tenido en cuenta que estos sean distinguibles por personas con deficiencias en la percepción del color.

Para estudiar la dependencia entre variables de forma cuantitativa (más allá de la información cualitativa que aportan las gráficas), se ha utilizado el coeficiente de correlación de Pearson, y se ha realizado un contraste de hipótesis para valorar su significación. Este puede consultarse en el [anexo 6: tabla de medias y correlaciones](#), al final de este trabajo. (Gorgas García, Cardiel López, & Zamorano, 2012).

El nivel de significación que se ha elegido para el análisis de la correlación de los datos de las encuestas es  $\alpha = 0,05$ , mientras que para el análisis de la correlación entre las calificaciones del examen y de los informes es  $\alpha = 0,1$ . Se ha tomado esta decisión debido a la apariencia de poca correlación que se observa en la gráfica de dispersión entre las notas del informe y del examen, la cual se debe al bajo número de muestras (22 alumnos). Así, resulta más sencillo

rechazar la hipótesis nula (es decir, la no existencia de correlación), a cambio, eso sí, de perder confianza.

### 3.2. Resultados del análisis

En primer lugar, se analizará la dependencia entre las calificaciones de los 22 alumnos en los informes de las prácticas y la calificación media de los dos problemas del examen relativos a dichas prácticas (ver [figura 10](#)). Existe una correlación estadísticamente significativa (al nivel de confianza del 90%) entre ambas variables. Es decir, suponiendo que la evaluación ha sido correcta por parte del profesor, se puede concluir que los alumnos que mejor han realizado las prácticas han realizado también mejor los problemas 1 y 2 del examen.

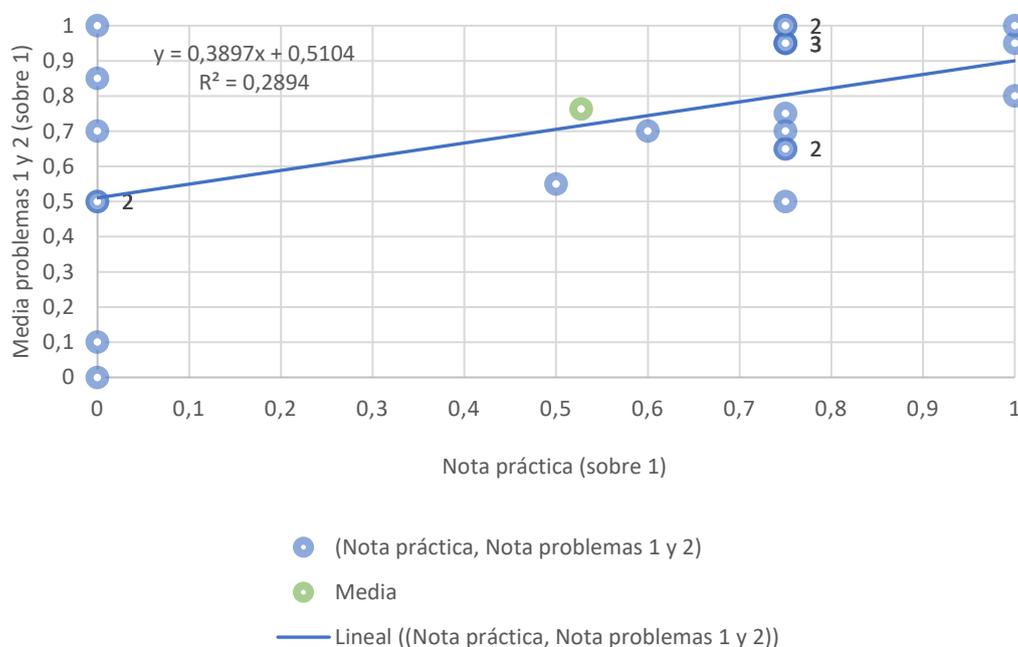


Figura 10 Diagrama de dispersión de las notas de la práctica asignada (eje x) y la media de los problemas 1 y 2 (eje y)

Este dato, sin embargo, puede estar ocultando otra realidad. Puede que los alumnos tengan un mejor o peor desempeño tanto en la práctica como en el examen sin que esto suponga que la práctica haya servido, realmente, para mejorar los resultados de dichos problemas. Es decir, puede que los alumnos buenos hagan bien tanto el examen como la práctica por el hecho de ser buenos alumnos, y no porque la actividad haya mejorado su aprendizaje. Esto es algo que señalan muchos docentes, como hizo en su día Richard P. Feynman citando la pesimista frase de Gibbon: “El poder de la instrucción no suele ser muy eficaz salvo en los felices casos en que es casi superfluo” (Feynman, 1963). Una forma de eliminar, parcialmente, esta posibilidad es

buscando si sigue existiendo correlación estadísticamente significativa entre los resultados de la práctica y los del resto del examen, eliminando del análisis esos dos problemas (ver [figura 11](#)). Efectivamente, al hacerlo, se corrobora la sospecha inicial, pues se obtiene de nuevo una correlación significativa. De hecho, esta realidad se evidencia incluso a través de la comparación visual de ambos diagramas de dispersión: ambos tienen una forma muy similar, y la recta de ajuste de los puntos es prácticamente la misma.

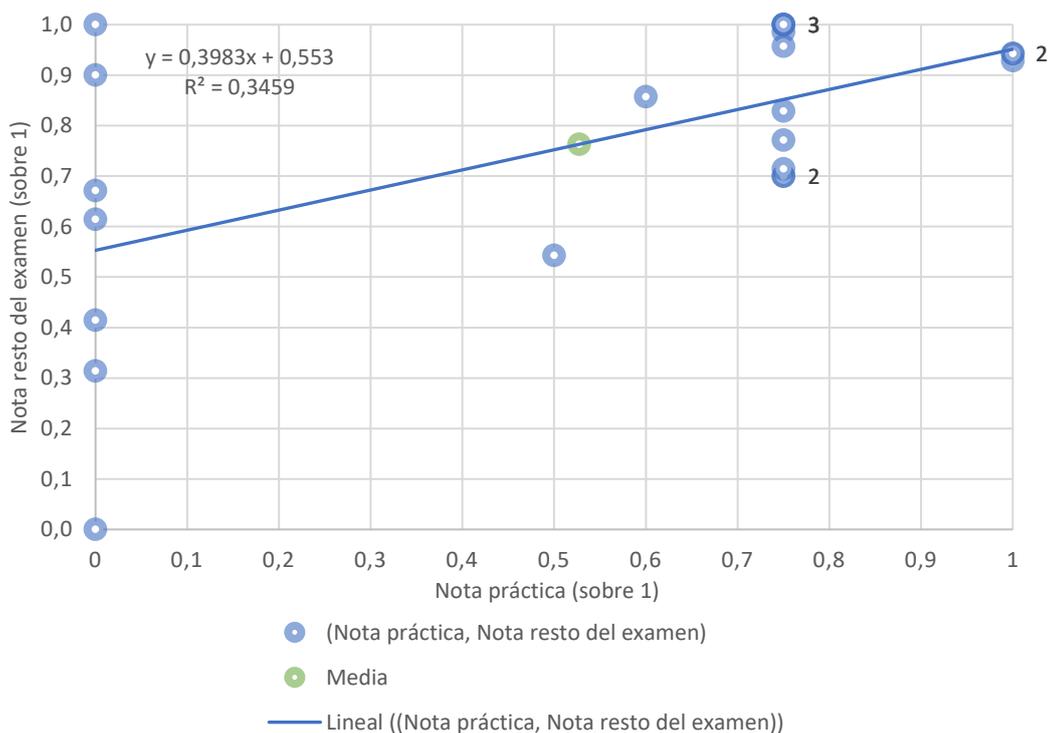


Figura 11 Diagrama de dispersión de las notas de la práctica asignada (eje x) y la media del resto del examen sin contar con los problemas 1 y 2 (eje y)

Resulta interesante observar en la [figura 10](#) que 4 alumnos, sin haber hecho la práctica y, en consecuencia, con un 0 en la calificación de la misma, han obtenido en el examen, sin embargo, calificaciones dentro de la media con respecto a los que sí la han realizado. Destaca, dentro de este grupo, un alumno que ha conseguido la calificación máxima tanto en los dos problemas, como en el resto del examen, sin haber entregado ninguna práctica. La conclusión es que a este alumno le bastó con la clase tradicional, y tanto para él como para los otros 3 alumnos mencionados, cabe preguntarse si es útil plantear actividades innovadoras como la que se les propuso.

Tampoco resulta alentador analizar si existe correlación entre la calificación en la práctica realizada y la calificación en el problema del examen relativo a dicha práctica (ver [figura 12](#)). El resultado del análisis sugiere que no hay correlación significativa (al nivel de confianza del 90%) entre ambas variables. En conclusión, el desempeño en el problema del examen no parece depender de que se haya realizado mejor la práctica correspondiente.

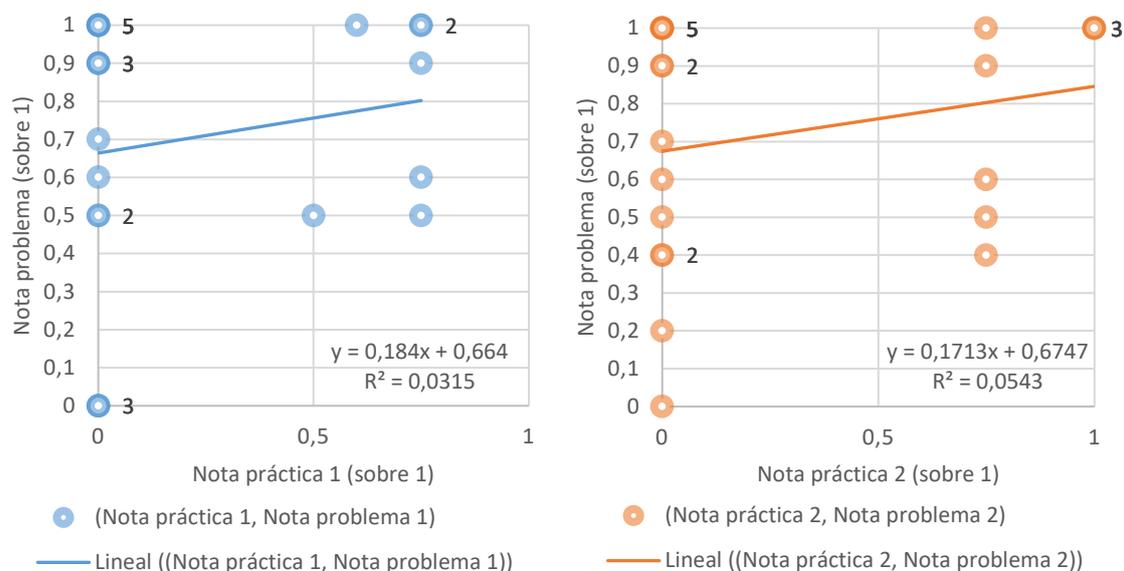


Figura 12 Diagramas de dispersión de las notas de la práctica 1 (eje x) y del problema 1 (eje y) (derecha) Diagramas de dispersión de las notas de la práctica 2 (eje x) y del problema 2 (eje y). Se ha dado el valor de 0 a aquellos alumnos que no han realizado la práctica correspondiente en cada caso, tanto si ha sido porque han realizado la otra práctica como si ha sido porque no han realizado ninguna.

Para completar el análisis, se procede a comparar las calificaciones obtenidas en cada uno de los problemas según los alumnos realizaron o no la práctica correspondiente, independientemente de la nota obtenida en esta. Con esto se pretende determinar si, al margen de la nota obtenida en la práctica, el haber realizado o no cada una de las prácticas ha dado lugar a una mejor calificación en el problema correspondiente.

Para ello se han representado histogramas con las frecuencias de las notas de cada problema en intervalos de 0,1 puntos, comparando los resultados del problema 1 de quienes entregaron la práctica 1 con los que no la entregaron (ya sea porque entregaron el problema 2 o porque no entregaron ninguno) ([figura 13](#)), así como los del problema 2 de quienes entregaron la práctica 2 con los que no la entregaron ([figura 14](#)).

Además, se han comparado los promedios de las notas de cada problema obtenidas por aquellos alumnos que han entregado la práctica correspondiente con las de quienes no la han entregado. La diferencia de medias es, tanto para el caso del problema 1 como para el problema 2, de  $0,1 \pm 0,3$ , concluyéndose que no existe una diferencia significativa (al nivel de confianza del 95%) entre las notas de quienes han realizado la práctica y quienes no.

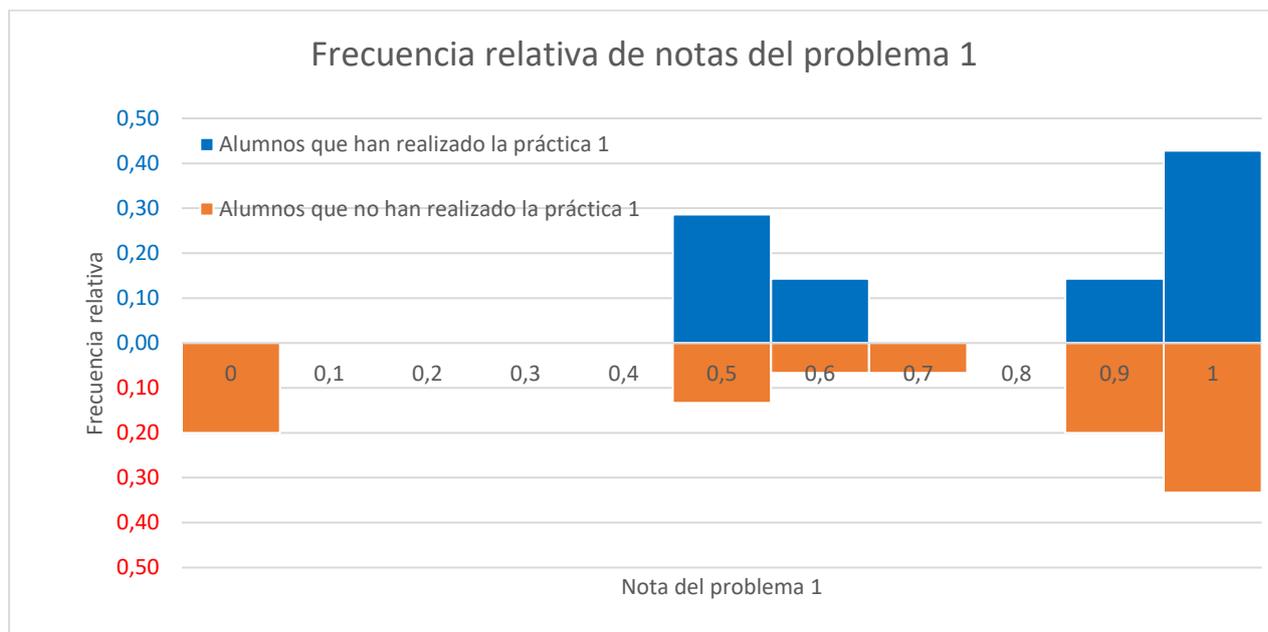


Figura 13 Histograma con las frecuencias relativas de las notas del problema 1 en alumnos que han realizado la práctica 1 (en azul) y en alumnos que no la han realizado (en naranja)

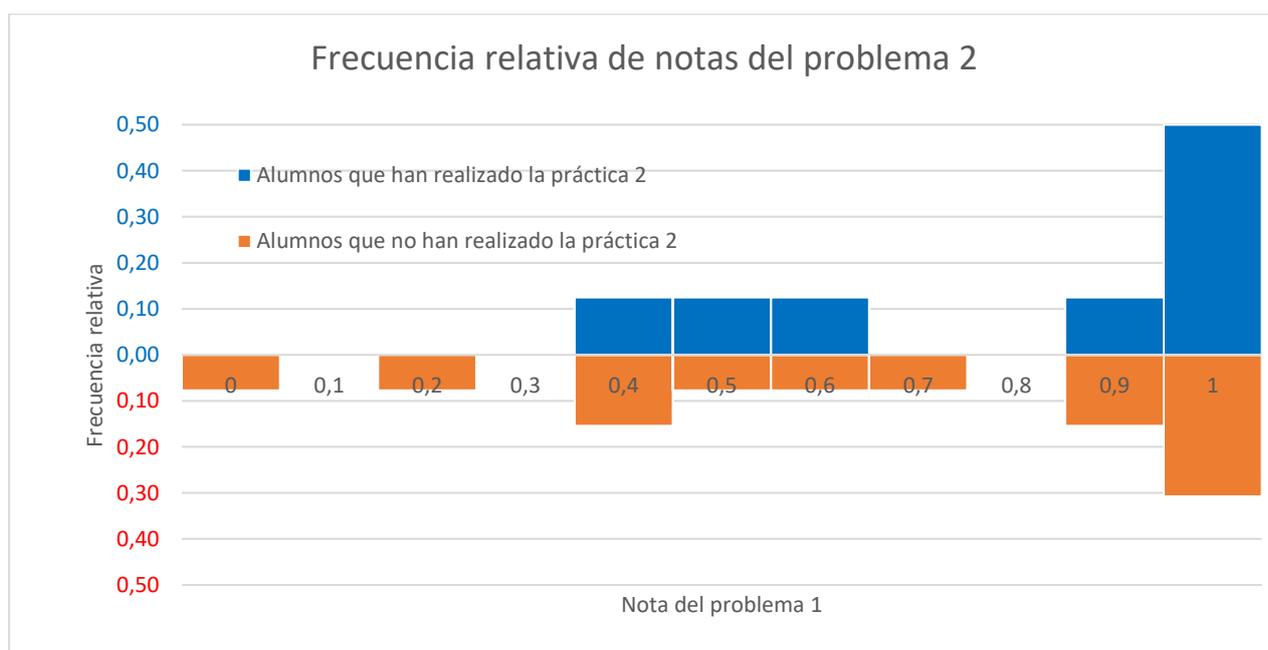


Figura 14 Histograma con las frecuencias relativas de las notas del problema 2 en alumnos que han realizado la práctica 2 (en azul) y en alumnos que no la han realizado (en naranja)

Estos resultados no tienen por qué interpretarse, sin embargo, como un indicador de que la actividad no resulte positiva, pues hay que tener en cuenta que la ausencia de correlaciones significativas y de diferencias significativas en las medias puede significar tres cosas distintas:

1. **La evaluación planteada no sirve para apreciar las diferencias de aprendizaje entre los alumnos que han realizado la práctica en cuestión y los que no.** Esto no quiere decir que la actividad de evaluación (los problemas del examen) esté mal planteada desde un punto de vista académico, pues se han seguido unos criterios y estándares difícilmente discutibles. Sin embargo, sí puede ser que no estén reflejando “estándares de aprendizaje significativo” (lo cual ocurre muy a menudo, también con metodologías “tradicionales”). Además, hay que distinguir dos cosas, la evaluación del alumno y la evaluación de la metodología. Es esta última la que se sugiere que puede que no se haya realizado correctamente (y, de todas formas, la del alumno tampoco tiene por qué) y de ahí la falta de correlación entre las calificaciones de la práctica y de los problemas del examen.
2. **La práctica planteada no redundó en un aprendizaje significativo.** De ser así, esta carencia se reflejaría en una falta de correlación entre la realización de la actividad y los mejores resultados en el examen, tal y como se ha observado.
3. **Ni la práctica planteada ni la evaluación de la actividad fueron las adecuadas.** Si es esto lo que ha ocurrido, estaríamos en el peor de los casos, pues ni la actividad habría producido un aprendizaje significativo, ni seríamos capaces de saberlo.

Desde un punto de vista estadístico, en conclusión, no se encuentran suficientes argumentos a favor de plantear la actividad, pero tampoco en contra de la misma, pues, con los datos de los que se dispone, no hay manera de saber cuál ha sido la causa exacta de que no haya correlación entre la realización de una práctica (o la nota de esta) y la calificación del ejercicio correspondiente a la misma. De todas formas, para realizar un verdadero análisis estadístico, se necesitaría una muestra mucho mayor y más variada de alumnos. En consecuencia, este análisis se debe tomar solamente como un primer resultado a la espera de poder realizar un estudio más adecuado, cuando se haya realizado la actividad en más institutos.

En consecuencia, se precisa de un análisis más a fondo alumno por alumno. El análisis se centrará en estudiar, sobre todo, los razonamientos de los alumnos en las respuestas a los problemas planteados en el examen. Estos razonamientos eran una exigencia, pues las preguntas terminaban con la frase “razona tus respuestas”. De encontrar a un solo alumno

que haya dado una buena respuesta en base a lo realizado en la práctica, la actividad ya habrá merecido la pena.

Los alumnos que no entregaron la práctica, salvo casos excepcionales, realizaron bastante mal los problemas 1 y 2 del examen, bien porque tuvieron errores en los cálculos o bien porque, aunque llegaran a soluciones correctas, no explicaban correctamente el procedimiento seguido. El caso excepcional más destacable es el de un alumno que no entregó ninguna práctica, realizó dichos problemas correctamente, con buenos razonamientos y sin errores en los cálculos, pero no solo eso, sino que también realizó perfectamente y sin fallos el resto del examen. Este caso puede ser el más interesante en cuanto al análisis de la actividad y, de haberse dado en más alumnos, llevaría a formular la pregunta de si la propuesta realmente es útil o no.

También se da el caso de un alumno que no entregó las prácticas y dejó en blanco los problemas 1 y 2 del examen. Este alumno, sin embargo, aprobó el examen porque realizó bastante bien los demás ejercicios, por lo que, quizás, si se hubiera esforzado en realizar la práctica podría haber tenido mejores resultados en el examen. Habría que plantearse cómo motivar a este tipo de alumnos para evitar que sucedan situaciones similares.

Otro dato interesante lo aporta un alumno que cometió los mismos errores de razonamiento en el examen que en la práctica. En esta línea, un error bastante común entre los alumnos fue escribir que la intensidad es igual al inverso del cuadrado de la distancia, en lugar de decir que es proporcional al inverso del cuadrado de la distancia. Sin embargo, también se dio el caso de un alumno que aprendió de sus errores en el trabajo, porque, tras la corrección, no los volvió a cometer en el examen. Sobre estos casos, hay que insistir en que cuando se plantean actividades de este tipo, no hay que descuidar ninguna de las partes del proceso de enseñanza-aprendizaje. Quizás en el proceso se dedicó poco tiempo a la parte relativa a la corrección, donde deberían haberse explicado más los errores cometidos, así como lo que se esperaba que los alumnos respondieran.

Un alumno obtuvo la puntuación máxima en la práctica 2 porque realizó una buena discusión y, sobre todo, una parte experimental brillante, con un montaje muy elaborado. En el examen realizó perfectamente tanto el problema 1 como el 2. Incluso mencionó que la ley de absorción se llama ley de Beer-Lambert (nombre que ni siquiera se mencionó en clase), lo que

sugiere que el alumno investigó por su cuenta cuando realizó la práctica. A pesar de ello, resultó un poco impreciso al emplear la palabra “dispersar” para referirse a “atenuar”, teniendo estos conceptos diferentes significados en óptica. Cabe preguntarse si realmente su calificación habría sido peor si no hubiera realizado la práctica, aunque lo más importante es que, más allá de la nota, la práctica le ha llevado a investigar por su cuenta. También hay que señalar, que, aunque entregase solo la práctica 2, este alumno realizó ambas prácticas, y lo hizo antes incluso de que se le entregaran los guiones (pues se anunció a los alumnos de forma anticipada que realizarían unas prácticas y en qué consistirían).

Como último dato destacable, tan solo dos alumnos incluyeron una gráfica para justificar la respuesta a la última pregunta del problema. Ambos entregaron la práctica asignada, que en un caso fue la práctica 1 y en el otro la práctica 2, añadiendo la gráfica en el examen justamente en el problema relativo a la práctica realizada. Puede que haber realizado la gráfica para la memoria de la práctica les haya inspirado, precisamente, para utilizarla como elemento de refuerzo en la explicación de la respuesta del examen, lo cual es, además, una buena práctica que convendría que adquirieran todos los alumnos.

En resumen, al analizar más detenidamente las respuestas de cada alumno en el examen, se puede concluir que en algunos casos sí se ha dado un aprovechamiento de la práctica, lo que se ha traducido en respuestas mejor desarrolladas en el examen. Aunque no es algo generalizado, es justo pensar que la actividad ha resultado positiva, al menos para estos alumnos, y que, por lo tanto, parece que sí ha merecido la pena realizarla.

#### **4. Análisis de las encuestas realizadas por los alumnos**

A continuación, se muestra el análisis de los datos y opiniones aportados por los alumnos en las encuestas. El análisis de las respuestas va encaminado, sobre todo, a valorar el aspecto motivador de la actividad, al margen de que esta haya redundado en mejores resultados en el examen, lo cual es, como ya se ha indicado, discutible, pero no descartable.

Además de preguntarles sobre la propia actividad, la encuesta comenzaba con preguntas generales sobre las notas de los alumnos y sobre su opinión de la asignatura. Estas preguntas sirven para caracterizar a la muestra de alumnos con vistas a replicar estos experimentos con otro grupo de alumnos. De nuevo, hay que insistir en que en las encuestas solo han participado 22 alumnos, que no tienen por qué ser una muestra representativa del alumnado de 2º de

Bachillerato, por lo que hay que tomar con cuidado las conclusiones que de ellas se desprenden.

En la [figura 15](#) se puede observar que, en promedio, a los alumnos les gusta bastante la asignatura de Física. De hecho, solo hay un alumno que ha respondido que la asignatura le gusta “poco”. Estas respuestas son esperables, teniendo en cuenta que se trata de una asignatura optativa, y que por lo tanto, la están cursando alumnos a los que, como poco, les interesa. Además, los alumnos, en promedio, perciben la Física como una asignatura de dificultad similar a la del resto de las que cursan en 2º de Bachillerato.



Figura 15 Distribución de los alumnos según cuánto les gusta la física (izquierda) y según cómo de difícil la perciben (derecha)

Existe una correlación pequeña, pero estadísticamente significativa (con un nivel de confianza del 95%), entre el gusto por la asignatura de Física y la apreciación de su facilidad (ver [figura 16](#)). Es decir, el que la asignatura les guste más o menos depende de su apreciación de facilidad o dificultad de la misma. Esto no resulta sorprendente y, en el fondo, es un dato que está indicando la importancia que tiene la motivación en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Los alumnos a los que les gusta la asignatura (la mayoría) ya están motivados y sobre ellos no sería tan necesario realizar actividades innovadoras, aunque siempre puede suponer una motivación adicional. Además, sobre estos alumnos sería más difícil cuantificar una mejora del interés. También existe correlación (significativa con un nivel de confianza del 95%) entre la nota del primer cuatrimestre y el gusto por la asignatura (ver [figura 16](#)). Esta correlación entre gusto y nota, sin embargo, no permite conocer si los alumnos han obtenido

una mejor o peor calificación porque les guste más o menos la asignatura, o si la causa de que les guste más o menos es, precisamente, que hayan obtenido una mejor o peor calificación. Es decir, podría ser que la motivación (debido a que les gusta la asignatura) ha llevado a los alumnos a obtener mejores resultados, o bien, que el haber obtenido mejores o peores resultados les ha aumentado o disminuido su gusto por la asignatura (y por lo tanto, su motivación).

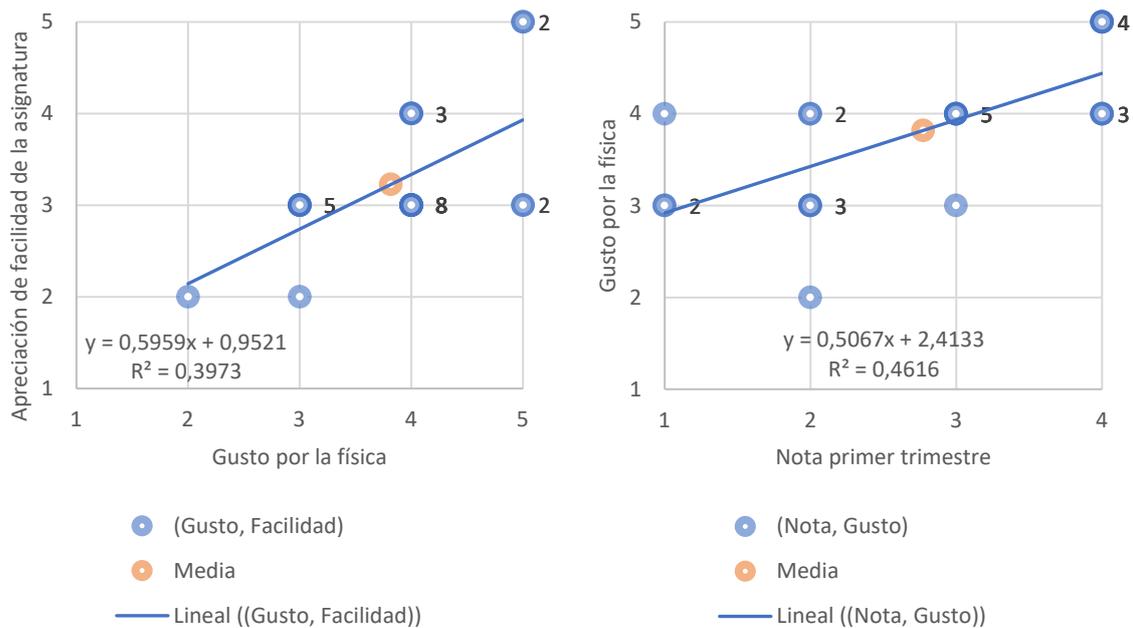


Figura 16 Diagramas de dispersión del gusto por la física (eje x) y de la apreciación de su dificultad (eje y) (izquierda)  
Diagramas de dispersión de las notas del primer trimestre (eje x) y del gusto por la física (eje y)

No existe suficiente correlación entre la facilidad para entender la asignatura y la facilidad para realizar la práctica (ver [figura 17](#)). En otras palabras, el haber hecho con más facilidad el experimento no depende de la facilidad con la que se realizan otras actividades en clase, que son las que dan a los alumnos la percepción de facilidad o dificultad de la asignatura. Esto es un punto a favor de la propuesta, pues significa que en ella los alumnos han tenido que hacer uso de destrezas a las que no están habituados, y por lo tanto, es posible que hayan aprendido habilidades nuevas. Estas habilidades pueden ser, precisamente, las funciones ejecutivas y las habilidades blandas a las que se ha hecho referencia en la [introducción](#) de este trabajo, principalmente las relacionadas con el manejo de herramientas tecnológicas, el trabajo en equipo (en el caso de los alumnos que han realizado los experimentos en pareja), la recopilación y análisis de información, la planificación y la toma de decisiones.

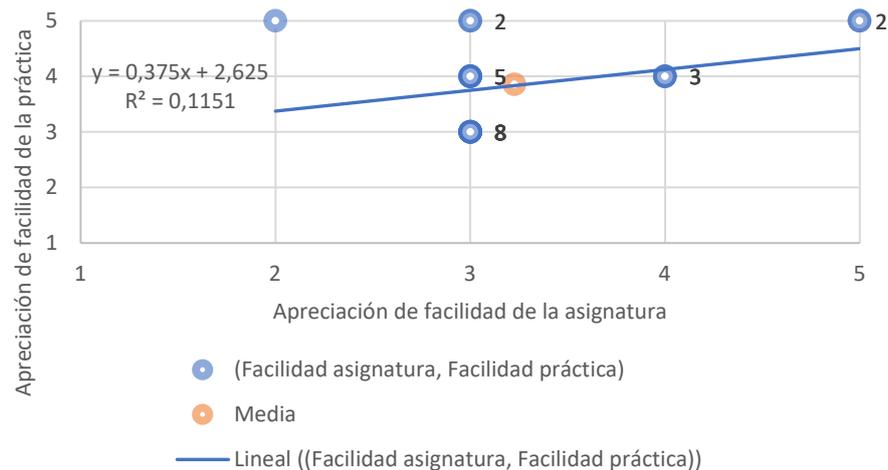


Figura 17 Diagramas de dispersión de la apreciación de facilidad de la asignatura (eje x) y apreciación de facilidad de la práctica (eje y)

Como se puede observar en la [figura 18](#), la mayor parte de la clase piensa que haber realizado el experimento le ha ayudado a entender mejor el tema del que trataba. De hecho, así lo piensan todos salvo dos personas. Es más, la mayoría cree que el experimento les ha ayudado mucho a entender el tema. Además, esta opinión no depende de lo fácil o difícil que les ha resultado llevar a cabo la práctica ni de cómo de fácil o difícil les resulta la asignatura, ni de si les gusta o no, pues no se han encontrado correlaciones significativas con ninguna de estas variables. Si los alumnos han sido sinceros, estas respuestas indicarían que los experimentos han resultado útiles en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Al menos así lo estiman los alumnos.



Figura 18 Distribución de los alumnos según su opinión sobre cuánto les ha servido la práctica para entender el tema del que trataba

En cuanto a la disposición por parte de los alumnos de llevar a cabo más actividades de este tipo (ver [figura 19](#)), en promedio, quienes que creen que el experimento les ayudó a entender

mejor el tema, creen también que hacer más experimentos con el móvil les ayudaría a comprender mejor otros conceptos teóricos de la asignatura, pues existe una correlación estadísticamente significativa entre ambas variables (con un nivel de confianza del 95%).

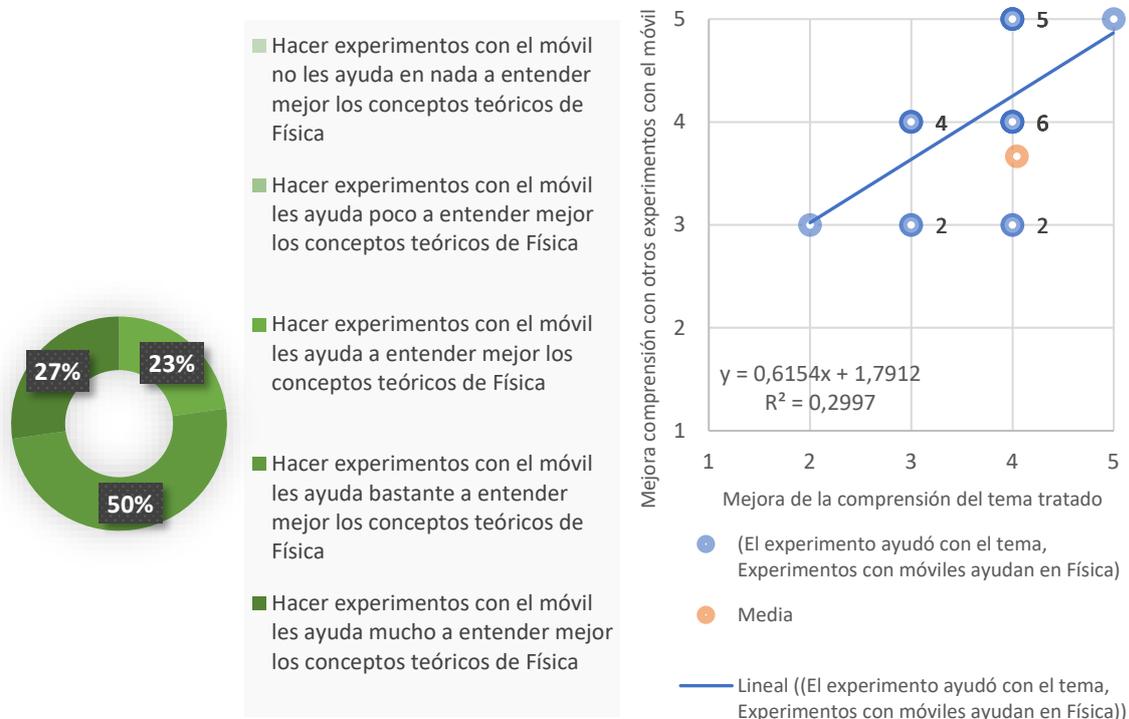


Figura 19 A la izquierda, distribución de los alumnos según su opinión acerca de la utilidad de los experimentos con el móvil para entender mejor la Física. A la derecha, diagrama de dispersión de las mejoras apreciadas por los alumnos en cuanto a la comprensión del tema tratado tras la realización de la práctica (eje x) y la utilidad de los experimentos con el móvil para entender mejor la Física según la opinión de los alumnos (eje y)

Además, la mayoría de los alumnos se muestran dispuestos a relizar más experimentos con el móvil tanto dentro del aula como en casa (ver [figura 20](#)). Los alumnos que no quieren realizar más experimentos con el móvil en casa alegan con una admirable sinceridad que tienen “cosas mejores que hacer” como “actividades extraescolares”. Más interesante ha sido encontrar a dos alumnos (ambos repetidores de 2º de Bachillerato) que quieren realizar más experimentos en casa que en clase porque “en clase se debe dar las cosas teóricas” y “el temario en 2º de Bachillerato es demasiado amplio”, mientras que “en casa, con mayor libertad, puedes hacerlo con más concentración” y “es una forma de ver que la física es de verdad y puede llamar la atención de la gente que no le gusta en un principio”. Como se puede comprobar, ellos mismos inciden en el aspecto motivador de los experimentos con el móvil. Por otra parte, como muestra la [figura 21](#), la mayoría de los alumnos querrían realizar más

actividades con el móvil en otras asignaturas porque “las clases serían más interesantes” y se “fijan mejor los conceptos” (entre otras opiniones) y, resulta curioso que los dos alumnos que no quieren realizarlas son los mismos que antes respondieron que les gustaría realizar más experimentos de Física con el móvil en casa, pero no en clase. También es interesante observar que los dos alumnos que señalaron que el experimento les ayudó poco o nada a entender el tema se muestran, sin embargo, positivos a la hora de realizar más experimentos con el móvil tanto en clase como en casa, y también a la hora de usar el móvil en otras asignaturas, por lo que, quizás, lo que no les convenció del experimento no fue la metodología, sino más bien el tema tratado, puede que porque consideren que ya lo entendían antes de realizar la actividad.

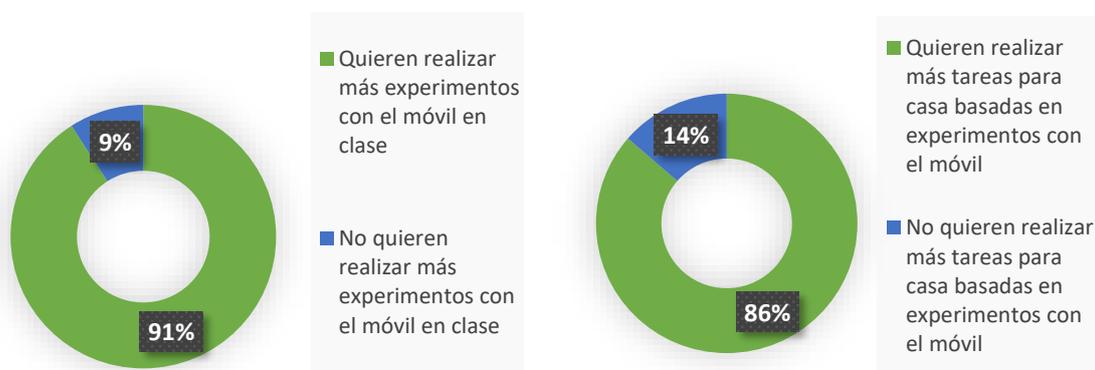


Figura 20 Distribución de alumnos según quieren realizar o no más experimentos con el móvil en clase (izquierda) y en casa (derecha)

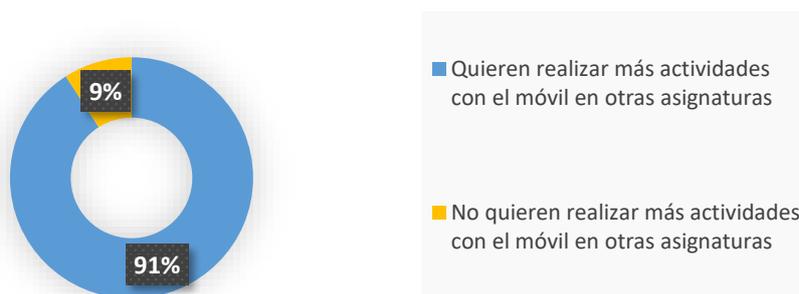


Figura 21 Distribución de alumnos según quieren realizar o no prácticas en otras asignaturas

Los alumnos señalan, en promedio, que la práctica mejoró su interés por la asignatura (ver [figura 22](#)). Los que señalan que ha aumentado su interés afirman que la práctica les “enseña aplicaciones y utilidades en la vida real, lo que te motiva a aprender” y que les parece “más entretenido” aplicar los contenidos de clase y “que no todo sean ecuaciones sin ver su utilidad”. Un dato muy revelador a este respecto lo da un alumno que afirmó que le “gusta hacer experimentos y es el único que hemos hecho”, lo que plantea la pregunta de si realmente lo motivador de la actividad ha sido usar un dispositivo móvil, o simplemente el hecho de hacer experimentos. Dicho de otra forma, para estos alumnos innovar puede significar no tanto utilizar TIC sino, sobre todo, hacer experimentos, lo cual debería ser algo habitual en las aulas. Otra opinión interesante la da un alumno que realizó la práctica 2 y que afirma que “es curioso ver cómo hay cosas tan simples que están regidas por leyes tan complejas”. Esta respuesta es, sin duda, consecuencia de un bajo nivel en competencias matemáticas o científicas, pues un alumno con mayor nivel de comprensión no diría que son complejas las leyes de dependencia exponencial, sino todo lo contrario. Los alumnos que aseguran que su interés por la asignatura no ha mejorado lo justifican porque, o bien siempre les ha interesado, o bien no les gusta la asignatura. Además, uno de ellos afirma que la asignatura no le resulta más interesante después de realizar el experimento porque “es otra aplicación de los mismos conceptos”, a pesar de que señaló que este le ayudó bastante a entender mejor el tema del que trataba.



*Figura 22 Distribución de alumnos según su opinión acerca de si la práctica mejoró o no su interés por la asignatura*

No hay correlación entre el gusto por la Física y al aumento o no del interés por la asignatura tras realizar la práctica (ver [figura 23](#)). En otras palabras, en promedio, la práctica ha

aumentado el interés de los alumnos independientemente de que a estos les guste más o menos la asignatura. Además, la asignatura les gusta “normal”, bastante o mucho a aquellos alumnos en los que no ha aumentado el interés por la asignatura.

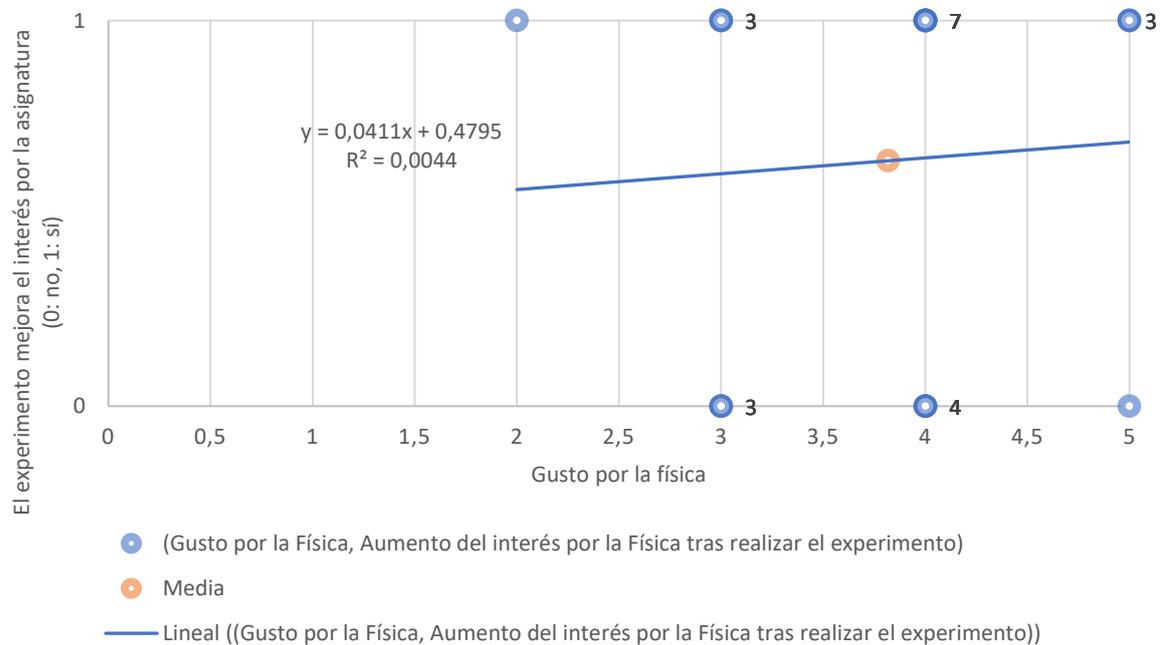


Figura 23 Diagrama de dispersión de la posible mejora del interés de los alumnos por la física (eje y) frente al gusto por la asignatura (eje x)

En cuanto a las dificultades que han encontrado durante la realización de la práctica, la que más se repite en las respuestas de la encuesta tiene que ver con la realización del montaje y la precisión a la hora de tomar las medidas (ambas aparecen etiquetadas como “cuidado experimental” en la [figura 24](#)). Otro problema que se han encontrado está relacionado con el teléfono móvil. Uno de los alumnos asegura que su móvil es “malo” y que por ello ha tenido problemas a la hora de tomar las medidas. Otro dice que al tener un *iPhone*, las aplicaciones *Physics Toolbox Suite* y *Phyphox* no podían acceder al sensor de luz, lo que le obligó a instalar otra aplicación distinta, llamada *Light Meter*. En las fuentes consultadas (Bouquet, Dauphin, Bernard, & Bobroff, 2019; Onorato, Gratton, Polesello, Salmoiraghi, & Oss, 2018; Salinas, Giménez, Monsoriu, & Castro-Palacio, 2018) se proponían experimentos similares con el uso del sensor de luz y las aplicaciones *Physics Toolbox Suite* y *Phyphox* y no se indicaban estos problemas, por lo que seguramente influya no solo que el móvil sea un *iPhone* sino también el modelo de este o la versión de su sistema operativo. En cualquier caso, algunos desarrolladores de aplicaciones para *iOS* han reportado problemas con la utilización del sensor de luz ambiental de los *iPhone* por cuestiones relacionadas con los permisos de uso

(Alexanderfrombergen, 2018), que además, pueden ir cambiando con las actualizaciones de software, por lo que esta puede ser la razón de que este no funcione por defecto en las aplicaciones *Physics Toolbox Suite* y *phyphox*. Por último, los alumnos encontraron dificultades en cuanto a la comprensión de la teoría, la representación gráfica de los resultados y a la elaboración la memoria.

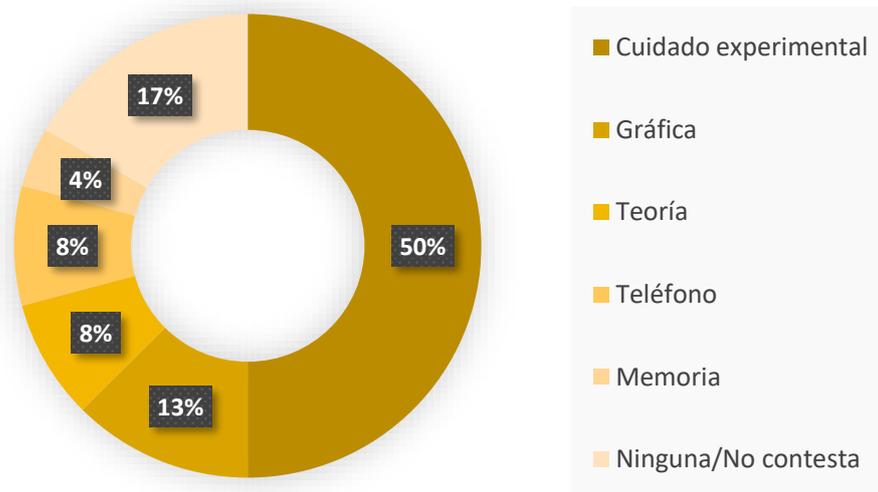


Figura 24 Principales dificultades encontradas por los alumnos a la hora de realizar los experimentos

En general, las respuestas a preguntas abiertas demuestran bastante madurez. Es cierto que se trata de alumnos de 2º de Bachillerato, pero no por ello hay que dejar de destacar lo positivo que resulta que sean tan conscientes de su aprendizaje. Esta madurez se ve reflejada, por ejemplo, en el hecho de que los alumnos hayan señalado la parte relativa al cuidado experimental como la principal dificultad encontrada (ver [figura 24](#)). En otras palabras, son conscientes de que el trabajo experimental en física no es tan sencillo, a pesar de que la parte teórica de la materia no les resulte más difícil que las demás asignaturas (ver [figura 15](#)). Por otra parte, esta madurez también se ha manifestado en entrevistas individuales con algunos de ellos, pues se ha comprobado que son capaces de llevar a cabo buenas críticas, tanto del proceso de enseñanza, como del de aprendizaje, así como de los temarios.

## 5. Opinión del profesor de la asignatura

El profesor de la asignatura es un varón mayor de 50 años. Además de dar la asignatura de Física de 2º de Bachillerato, imparte la asignatura de Fundamentos de Submarinismo de 4º de ESO. En cuanto al uso de TIC, en su día a día utiliza frecuentemente las aplicaciones *WhatsApp*,

traductor, cámara de fotos, *Google Maps*, calculadora, navegador, meteorología, diccionario y correo electrónico en el teléfono móvil. Además, dispone de un *iPad* que utiliza, entre otras cosas, para anotar las calificaciones de los alumnos. Es consciente de que su teléfono móvil dispone de sensores de luz, sonido y GPS y los ha utilizado alguna vez para orientarse o para medir decibelios. Utiliza los dispositivos móviles muy frecuentemente con sus alumnos, destacando el uso de *WhatsApp* como herramienta de enseñanza “a cualquier hora del día, mediante grupos” con los alumnos, “utilizando en estos vídeos de Internet y animaciones” que encuentra en la red, así como “fotografías de cálculos hechos con papel y bolígrafo”. Con esta herramienta intenta cubrir aspectos diversos del currículo de Física de 2º de Bachillerato y de Fundamentos de Submarinismo de 4º de ESO, asignatura en la que hace mayor uso de esta.

Después de que los alumnos hayan realizado la actividad, el profesor considera que seguirá utilizando el móvil muy frecuentemente en sus clases, como lo ha hecho hasta ahora, pero incorporando, además, las aplicaciones que acaba de conocer (*phyphox* y *Physics Toolbox Suite*).

En cuanto a la valoración que le da a la actividad, y al uso en general de los dispositivos móviles como herramientas de enseñanza-aprendizaje, señala que “las ventajas y desventajas no están en las aplicaciones sino en el modo y manera de utilización dentro y fuera del aula”. Después de la actividad, su opinión sobre este tipo de herramientas de enseñanza-aprendizaje ha mejorado “sobre todo porque permiten complementar las clases teóricas con práctica de laboratorio que a veces escasean en los centros de secundaria”. Cree que la utilización de móviles puede facilitar mucho el proceso de enseñanza-aprendizaje en cuanto entender y recordar los conocimientos y bastante en cuanto al interés de los alumnos por la asignatura, cuya mejora cree que “puede tener que ver con el uso masivo que hacen actualmente de sus smartphones”. Respecto a su influencia en el desarrollo de las clases (dentro del aula), el profesor piensa que los dispositivos móviles pueden hacer las clases bastante más dinámicas y atractivas, aumentando la participación, motivando a los estudiantes, aumentando el interés por la física al emplear el móvil como herramienta de trabajo, favoreciendo el trabajo colaborativo dentro del aula y facilitando mucho la interacción entre los alumnos y el profesor. Respecto a su influencia en el trabajo autónomo del alumno, el profesor cree que las tareas se pueden hacer mucho más atractivas y entretenidas con el uso de estos dispositivos, que

pueden servir para que un mayor número de alumnos realicen las tareas para casa, facilitando el control de la realización de las tareas, mejorando los hábitos de estudio de los alumnos y el interés de estos por la asignatura. Cree que los estudiantes valoran bastante el uso de estas herramientas para realizar sus tareas, que a estos les han parecido útiles las *apps* que han utilizado para realizar sus tareas, que ha aumentado su interés por la Física al usar el móvil como herramienta de trabajo y que este favorece el trabajo colaborativo fuera del aula.

El profesor destaca como ventajas del uso de aplicaciones el aumento de la autoconfianza, motivación y autoaprendizaje y, como desventajas, las “posibles distracciones hacia otras aplicaciones que no sean el objeto de la clase (redes sociales, sobre todo)”. En cuanto al uso concreto del móvil para realizar prácticas de laboratorio, la ventaja que destaca es que “en muchos casos se puede trabajar rápida y eficazmente sin necesidad de recursos caros en el laboratorio” y las desventajas que “en pocos casos el alumno no manipula del todo” y que “puede que el trabajo sea demasiado individual”.

## 6. Líneas futuras de trabajo

Tras haber diseñado e implantado las dos prácticas, el siguiente paso para poder valorarlas consistiría en probarlas con una muestra de estudiantes mayor y más diversa. De esta forma se podría hacer un análisis estadístico más fiable y se podría llegar a mejores conclusiones. Otra de las líneas de trabajo que se podrían desarrollar en un futuro consistirían en llevar a cabo experiencias similares para otras partes del temario ESO y Bachillerato. En el [anexo 3: propuesta de experimento sobre la presión hidrostática](#) se muestra un ejemplo de práctica que podría desarrollarse en dicha asignatura, optativa de libre configuración que se imparte en el IES José Jiménez Lozano en 4º curso.

## 7. Conclusiones

Los sensores del teléfono móvil permiten realizar muchos experimentos de Física sin necesidad de aparatos de medida específicos. No se pretende que sustituyan al laboratorio de Física tradicional, pero sí aportan ventajas respecto a este, permitiendo, por ejemplo, que los alumnos realicen experimentos desde casa. Esto posibilita la realización de prácticas que no se pueden llevar a cabo en el laboratorio de un instituto y, al mismo tiempo, permite relacionar la ciencia con la vida cotidiana de los alumnos, al llevar el laboratorio a su entorno

habitual, con el *smartphone* como dispositivo de medición, lo que les puede resultar más amigable.

La realización de experimentos con el móvil parece mejorar la motivación del alumnado en las clases de Física de 2º de Bachillerato, aunque esto puede deberse no tanto el uso del teléfono móvil, sino más bien a la ejecución de experimentos, pues estos no se realizan de manera tan habitual en los institutos. Así pues, se insiste en la importancia de la realización de prácticas de laboratorio en Física, ya sea mediante el uso del teléfono móvil o mediante métodos más tradicionales.

Sin embargo, no se observa, en promedio, una mejora cuantificable en el aprendizaje o, al menos, esto es lo que se desprende de los resultados del examen. Esto puede deberse a que las preguntas del examen que se ha planteado no eran las más adecuadas para evaluar todas las competencias aprendidas mediante la realización de la práctica, pudiendo quedarse fuera del análisis el logro de algunos contenidos procedimentales o la puesta en práctica de habilidades “blandas”. De todas formas, con los datos disponibles, no se puede descartar que la práctica no haya resultado más útil que una enseñanza más tradicional y puramente teórica. Por otra parte, la muestra de alumnos era demasiado pequeña y la actividad planteada fue un trabajo muy puntual. Para poder realizar un estudio estadístico habría que plantear la propuesta en poblaciones mayores y mediante un conjunto de actividades realizadas durante un período más grande de tiempo (por ejemplo, un curso completo).

El examen planteado habría tenido mejores resultados, seguramente, si se hubiese insistido más durante la explicación teórica y durante la corrección de las prácticas en algunos fallos típicos. De hecho, en el examen se repitieron errores cometidos en los informes de las prácticas. Por ejemplo, debería haberse insistido más en que la intensidad es proporcional a la inversa del cuadrado de la distancia, pero no igual a la inversa del cuadrado de la distancia. Este fue un fallo bastante común en los exámenes, por lo que esta idea no quedó clara a pesar de la realización de las prácticas.

En cuanto a la evaluación, quizás el peso de la práctica haya sido demasiado pequeño respecto al resto de la nota. Sobre los 10 puntos del examen, la tarea solo contó 1 punto, lo que equivale a tan solo 0,5 puntos de la nota final del trimestre (sobre 10 puntos). Esta decisión se tomó

para no alterar su forma de evaluación habitual, pero idealmente, si se realizaran prácticas más a menudo y en más temas, estas deberían tener un peso mayor.

A la hora de plantear estas prácticas, hay que tener en cuenta no solo los beneficios del uso de los teléfonos móviles como aparatos de medida, sino también los aspectos negativos. En este trabajo se ha destacado, sobre todo, que los teléfonos móviles son una posible fuente de distracciones y que no todos disponen de todos los sensores necesarios para realizar las medidas (por ejemplo, el barómetro está disponible solo en algunos modelos, y no, precisamente, en los más baratos), lo que supone una desigualdad entre los alumnos.

Las conclusiones obtenidas tras analizar los resultados del examen y las respuestas a las encuestas no tienen por qué ser representativas de todo el alumnado de 2º de Bachillerato, pues la actividad se ha planteado en una clase de solo 22 alumnos en un instituto con unas características muy concretas. Este problema es común a toda investigación docente, pues, como se ha podido comprobar en este trabajo, resulta muy difícil, desde el punto de vista metodológico, medir de forma objetiva y cuantitativa la mejora que aporta cualquier innovación. Además, en poblaciones tan pequeñas, el efecto de factores individuales o personales y de factores externos, como otras actividades o exámenes, pueden influir notablemente en los resultados, y hacer que una actividad con resultados positivos en un curso no los tenga en otros. Se sugiere, evidentemente, repetir la actividad en otros centros con características diferentes para obtener conclusiones más generales.

## Anexo 1: Guiones de las prácticas

### Práctica 1

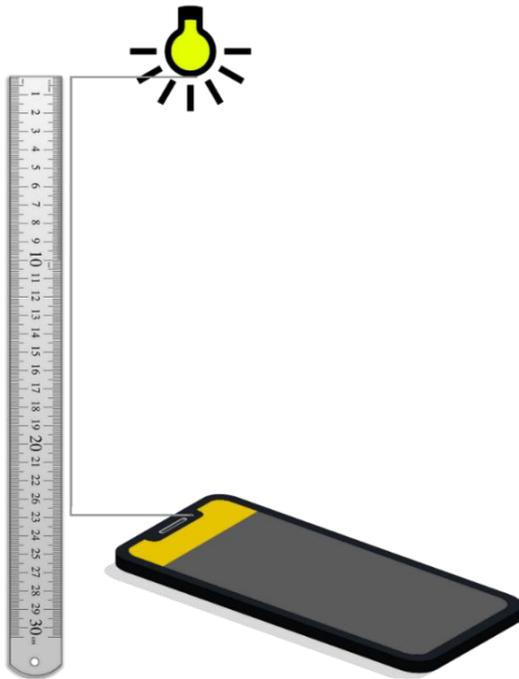
Sigue las indicaciones que tienes a continuación. Junto a las respuestas que se piden en el último apartado, deberás entregar las tablas y gráficas, y **una fotografía del montaje** del experimento. Además, deberás indicar cuál de las dos aplicaciones has elegido para realizar el experimento.

1. Descarga y abre una de las siguientes aplicaciones (ambas están disponibles de forma gratuita tanto para Android como para iOS):

- Phyphox
- Physics Toolbox Sensor Suite

2. Localiza el sensor de luz de tu teléfono móvil y comprueba que funciona correctamente y que la aplicación lo reconoce. Normalmente este sensor se encuentra al lado de la cámara delantera. Desde la aplicación, ve a la opción que se llama “sensor de luz” (en phyphox) o “light” (en Physics Toolbox Sensor Suite). Tapa el sensor y comprueba que deja de recibir luz. Acércalo a una fuente de luz y comprueba que la aplicación marca una mayor luminosidad.

3. Busca una fuente de luz fija y puntual. (No utilices una fuente de luz alargada o de tubo) Trabaja en un lugar que esté a oscuras salvo por esa fuente de luz. El experimento comenzará a una distancia alejada del foco al menos 50 cm. Ve acercando el móvil a la fuente y con ayuda de una regla o metro ve anotando en una tabla el valor y las unidades de la luminosidad que marca el móvil, junto con la distancia a la fuente (también con sus unidades) para cada valor de luminosidad. Realiza al menos 5 medidas. **¡No te acerques mucho a la fuente!** Intenta ser muy preciso al tomar las medidas. Debes tener cuidado de que el móvil esté siempre lo más **centrado** posible a la recta imaginaria que une el sensor con la fuente de luz, **desplazándolo siempre de forma paralela a sí mismo**. Ten cuidado también de **no hacer sombras** en el sensor al tomar las medidas. Recomendación: Utiliza libros y apílalos uno encima de otro para ir así acercando el móvil a la fuente sin desviarlo de la línea imaginaria que une el sensor con la fuente. Mide el grosor de los libros y así sabrás lo que ha disminuido la distancia con cada libro que añades.



4. Representa los datos que has obtenido en una gráfica (luminosidad frente a distancia). ¿Qué tipo de gráfica obtienes? ¿Cuánto valdrá la luminosidad a una distancia infinita de la fuente? ¿Qué **fenómeno** físico de los que has estudiado en este curso estás observando? ¿Qué **ley (ecuación)** se cumple? (**No olvides indicar en los ejes las unidades** de las variables que has representado).

Nota aclaratoria: La luminosidad que estás midiendo no es exactamente la intensidad de la luz, pero vamos a considerar que varía con la distancia de acuerdo con la misma ley que has estudiado en clase.

## Práctica 2

Sigue las indicaciones que tienes a continuación. Junto a las respuestas que se piden en el último apartado, deberás entregar las tablas y gráficas, y **una fotografía del montaje** del experimento. Además, deberás indicar cuál de las dos aplicaciones has elegido para realizar el experimento.

1. Descarga y abre una de las siguientes aplicaciones (ambas están disponibles de forma gratuita tanto para Android como para iOS):

- Phyphox
- Physics Toolbox Sensor Suite

2. Localiza el sensor de luz de tu teléfono móvil y comprueba que funciona correctamente y que la aplicación lo reconoce. Normalmente este sensor se encuentra al lado de la cámara delantera. Desde la aplicación, ve a la opción que se llama “sensor de luz” (en phyphox) o “light” (en Physics Toolbox Sensor Suite). Tapa el sensor y comprueba que deja de recibir luz. Acércalo a una fuente de luz y comprueba que la aplicación marca una mayor luminosidad.

3. Busca una fuente de luz fija. Preferiblemente, trabaja en un lugar que esté a oscuras salvo por esa fuente de luz. Deja el móvil fijo en una **posición fija** y que esté centrada respecto a la fuente de luz, de forma que esta llegue perpendicular al sensor. **Comprueba que el sensor recibe una luminosidad constante** (si el valor de luminosidad oscila mucho, prueba con otra fuente menos intensa o aleja la fuente del sensor hasta que el valor se mantenga lo más constante posible). Una vez que hayas tenido en cuenta las indicaciones anteriores, anota la luminosidad que recibe el sensor. **No muevas el móvil de esta posición durante el resto del experimento.**

4. A continuación, coloca de una en una capas de un material traslúcido (puedes usar cachos de papel blanco, de celo, o de algún plástico) **encima del sensor** de luz del móvil. (Las capas deben ser del mismo material y del mismo grosor). Ve anotando en una tabla el número de capas que vas añadiendo, junto al valor y unidades de la luminosidad que recibe el móvil con cada capa que añades. Debes colocar al menos 5 capas para tener así 5 medidas para cada material. (Si usas celo como material, **ten cuidado de no mancharlo con los dedos** por la parte que pegues al sensor, para que todas las capas tengan la misma transparencia). **No muevas el móvil** de su posición al colocar los trozos de material sobre el sensor.

5. Representa los datos que has obtenido en una gráfica. Puedes representar luminosidad frente a número de capas (de un mismo material) o, si conoces el espesor de las capas que estás usando, luminosidad frente a espesor. Representa **en otra gráfica** el logaritmo neperiano de la luminosidad frente al número de capas (o frente al espesor, si lo conoces). Debes obtener (aproximadamente) una recta. Obtén el valor de la pendiente de esta última gráfica. Repite las gráficas para otro material (por ejemplo, si la primera vez lo hiciste con cachos de papel, hazlo ahora con cachos de celo). ¿Cuánto vale ahora la pendiente de la última gráfica? ¿Qué fenómeno físico estás observando? ¿Qué nombre recibe el valor de la pendiente de la gráfica que has representado?

Nota aclaratoria: **La luminosidad está relacionada con la intensidad de la luz.** En esta práctica puedes considerar que ambas magnitudes son lo mismo, porque al añadir las capas de material varían de acuerdo con la misma ley (que has estudiado en clase).

## Anexo 2: Fundamento teórico de las prácticas

A continuación, se presenta el fundamento teórico de las prácticas cuyos guiones se acaban de detallar. Los alumnos no han tenido acceso a estos textos, pero sí a su libro de texto habitual (García, 2016/2017), en donde se explican estos conceptos. Además, recibieron una explicación en la pizarra sobre los temas tratados y sobre algunas indicaciones para tomar las medidas.

### Práctica 1

La luz puede ser descrita mediante ondas electromagnéticas, es decir, campos eléctricos y magnéticos que oscilan simultáneamente. La intensidad de la luz en cada punto del espacio es proporcional al cuadrado de la amplitud de esas ondas, es decir, al cuadrado del campo eléctrico o del campo magnético máximos (ambos relacionados entre sí por medio de la velocidad de la luz).

$$c = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{B}|}$$

$$I \propto E^2; I \propto B^2$$

Supongamos un foco de luz de potencia  $P$  y un sensor situado a una distancia  $r$  del foco. La luz del foco es emitida en todas las direcciones. Dicho de otra manera, los frentes de onda de la luz son esferas. Estas esferas tienen un radio  $r$  igual a la distancia al foco en donde se origina la luz. En consecuencia, para cada distancia  $r$ , la luz debe repartirse en toda la superficie de cada frente de onda. Como dicha superficie es igual a la de una esfera de radio  $r$ , se tiene que la intensidad media de la onda a la distancia  $r$  es:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Evidentemente, a medida que el sensor se aleja del foco, el frente de onda se hace de mayor radio, por lo que la superficie en la que se reparte la luz es más grande y, en consecuencia, la intensidad se hace más pequeña:

$$r_1 < r_2 \Rightarrow \left( I_1 = \frac{P}{4\pi r_1^2} \right) > \left( I_2 = \frac{P}{4\pi r_2^2} \right)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

A esta relación se le denomina ley del inverso del cuadrado de la distancia para la intensidad. En la práctica, permite calcular la intensidad de la luz a una distancia  $r_2$  conociendo la intensidad de la luz a otra distancia  $r_1$ .

Al fenómeno descrito por dicha ley se le llama atenuación y es un fenómeno que ocurre en general para todas las ondas, no solo las electromagnéticas. Así pues, se da también, por ejemplo, en las ondas de sonido, al alejarnos de un altavoz. Es interesante hacer notar, asimismo, que la atenuación sigue exactamente la misma ley para la intensidad de los campos centrales, como el campo gravitatorio generado por una masa puntual (ley de la gravitación universal de Newton) o el campo electrostático generado por una carga (ley de Coulomb). Así pues, la ley del inverso del cuadrado de la distancia no debe resultar una propiedad sorprendente o novedosa para los alumnos.

$$g \propto \frac{1}{r^2}; E \propto \frac{1}{r^2}$$

## Práctica 2

La luz está formada por ondas electromagnéticas, y como tal, estas sufren el fenómeno de absorción al atravesar un medio material. La absorción de la luz en medios materiales transparentes puede caracterizarse a través de la ley de Beer-Lambert-Bouguer, que da la intensidad de la luz  $I$  cuando una onda de intensidad inicial  $I_0$  atraviesa un medio de material transparente o translúcido de longitud  $x$ . Esta ley indica una disminución exponencial de la intensidad luminosa:

$$I = I_0 e^{-\beta x}$$

Al coeficiente  $\beta$  se le denomina coeficiente de absorción del material, y depende de la composición del material pero también de la longitud de onda de la luz absorbida, aunque esta última dependencia no se observa en este experimento, pues en él no se realizan medidas distintas a diferentes longitudes de onda. De hecho, al no imponerse trabajar con una longitud de onda en concreto, lo más frecuente será que los alumnos utilicen luz blanca, compuesta por ondas electromagnéticas de varias longitudes de onda al mismo tiempo.

### Anexo 3: Propuesta de experimento sobre la presión hidrostática

Se propone a continuación un experimento con el móvil para la asignatura de “Fundamentos de Submarinismo” de 4º de ESO. No hubo tiempo para realizar el experimento durante el prácticum, por lo que no se puede dar aquí una valoración de la propuesta como con las otras dos actividades. La práctica encaja dentro de la Unidad 2: Física y química del submarinismo. Con ella se pretende enseñar el contenido: “Presión hidrostática”, cuyo estándar de aprendizaje evaluable es “Resuelve problemas numéricos concernientes a la presión hidrostática” (Departamento de Física y Química I.E.S. José Jiménez Lozano, 2018).

La práctica intenta ir más allá de lo que exige la asignatura, de manera que los alumnos logren relacionar la variación de la presión en el agua con la variación de la presión atmosférica. La idea es que comprendan qué es la presión atmosférica y cómo varía con la altitud, relacionándola con lo que ya han aprendido en la asignatura, y que han experimentado durante las prácticas de buceo.

Si bien la práctica está pensada para la asignatura de “Fundamentos de submarinismo”, podría realizarse también en la asignatura de Física y Química de 4º de ESO. De hecho, al basarse en la comparación de cómo varía la presión en el agua y en aire, la práctica encaja perfectamente con el contenido “principio fundamental de la hidrostática” del bloque 2 de dicha asignatura.

### Práctica: La presión hidrostática

Antes de comenzar con la parte experimental de la práctica, debéis leer atentamente la siguiente introducción teórica:

#### Teoría

Como sabéis, la presión que experimentáis cuando estáis bajo el agua aumenta a medida que os sumergís a profundidades mayores. A esta presión se le llama presión hidrostática, y viene dada por la siguiente expresión:

$$p = d_w g z + p_0$$

El valor  $d_w$  representa la densidad del agua (aproximadamente  $1027 \text{ kg/m}^3$  en el mar),  $g$  es la aceleración de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ), y  $z$  es la profundidad (en metros).  $d_w g z$  representa la presión manométrica (en Pa). Como vemos, a esta se le suma  $p_0$  (que es  $1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa}$ ), que es la presión atmosférica en la superficie, es decir, la que experimentamos fuera del agua, antes de sumergirnos.

Podéis comprobar que si sustituís en la ecuación valores de  $z$  (de profundidad) cada vez mayores, la presión aumenta cada vez más, tal y como experimentáis cuando os sumergís en el agua.

La presión se debe a que, cuando estamos bajo el agua, tenemos que soportar el peso de la columna de agua que tenemos encima, que ejerce una presión  $d_w g z$ , más el peso de toda la columna de aire que hay encima del agua, que ejerce una presión es  $p_0$ .

El aire también es un fluido, como el agua, por lo que también cumple la expresión de la ley hidrostática, aunque con un valor de **densidad mucho menor**. En otras palabras, aunque en superficie el valor de la presión atmosférica es, como hemos dicho,  $p_0$ , la presión va a ir disminuyendo a medida que subamos en altura, pues tenemos que soportar el peso de una columna de aire cada vez menor sobre nuestro cuerpo. Es decir, se cumple que la presión atmosférica varía según esta expresión:

$$p = p_0 - d_a g h$$

El valor  $h$  representa la altura y el valor  $d_a$  la densidad del aire. Podéis probar que, al sustituir valores de  $h$ , (de la altura) cada vez mayores, la presión se hace cada vez más pequeña (fijaos en el signo negativo).

Nota: La expresión solo se cumple para alturas pequeñas, porque si la altura es muy elevada, la gravedad y la densidad dejan de ser constantes.

Como sabéis, el valor  $p_0$  no vale siempre lo mismo (cambia durante el día y de un día a otro). De hecho, ese valor está relacionado con el tiempo atmosférico. En esta práctica vais a medir dicho valor, así como el valor de presión al aumentar la altura.

## Parte experimental

Nota: Para realizar esta práctica necesitáis un teléfono móvil que disponga de barómetro. Este sensor está disponible en iPhone 6, iPhone 6S o modelos superiores de este teléfono (exceptuando el iPhone SE), así como en algunos terminales Android de gama media y alta.

Seguid las indicaciones que tenéis a continuación. Deberéis responder a las preguntas que se plantean y entregar las tablas y gráficas que se os piden. Además, debéis entregar **una fotografía en la que se vea cómo habéis hecho las medidas**.

1. Descargad y abrid la aplicación Physics Toolbox Suite (disponible tanto en la App Store como en Google Play).
2. Desde el menú principal de Physics Toolbox Suite, pulsad en la opción "Barómetro". El móvil empezará a tomar medidas de la presión atmosférica en tiempo real.

4. Id a una escalera y dejad el móvil apoyado en el primer escalón. Esta va a ser la altura de 0 metros. Anotad en vuestro cuaderno el valor de la presión que os da el móvil en esa posición. Este va a ser vuestro primer valor.

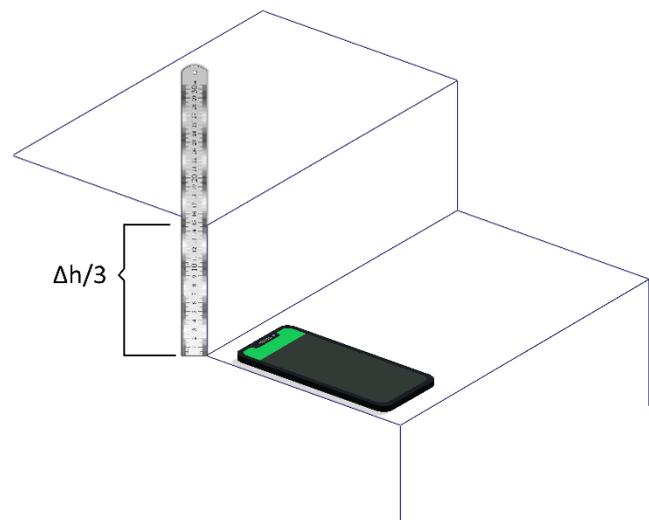
5. Medid la **distancia**  $\Delta h$  que hay cada tres escalones con un metro o una regla.

6. Subid ahora el móvil tres escalones por encima. ¿Cuánto ha cambiado la medida? Anotad el valor que tiene ahora la altura (con precisión de centímetros) junto al valor que toma la presión.

7. Repetid las medidas hasta llegar a una altura de, al menos, 3 metros.

Debéis escribir en una **tabla** como esta los valores que vayáis midiendo (cuantos más valores toméis, mejor):

Altura (m)	Presión (Pa)
0	



Nota: ¡Tened cuidado con las unidades!

8. Representad los valores de la tabla en una gráfica. En el eje x colocad las alturas, en el eje y las presiones. Veréis que los puntos forman una recta. **Dibujad esa recta** por donde pasan los puntos. ¿Qué **ecuación** tiene? ¿Cuánto vale **la ordenada en el origen** y qué representa? ¿La **pendiente** de la recta es negativa o positiva? ¿Por qué?

9. Comparad la variación de la presión atmosférica que se produce en 3 metros de altura, con la que se produce en el agua cuando os sumergís a 3 metros de profundidad. ¿**Por qué** la variación es mucho menor en el aire que en el agua? ¿Qué **propiedad** de los fluidos determina lo rápido que varía la presión con la altura (o con la profundidad)?

## Anexo 4: Encuestas

A continuación, se muestran las encuestas que se pasaron a los alumnos y al profesor, respectivamente. En las primeras (anónimas) se piden datos genéricos de los alumnos, así como datos de opinión sobre la asignatura y sobre la práctica realizada. En las segundas se pide la opinión a los profesores que han realizado con su clase estas actividades (en este caso, solo un profesor, pues solo se realizó una actividad de este tipo en una única asignatura):

### *Encuesta anónima sobre el uso de los móviles para aprender física*

---

#### DATOS GENERALES

1. Sexo:            Hombre             Mujer
2. Edad:            .....
3. ¿Es la primera vez que cursas 2º de Bachillerato?: .....
4. ¿Has repetido algún curso anterior a 2º de Bachillerato? Sí  No   
Si la respuesta es Sí, ¿cuál o cuáles? .....
5. ¿Cuál ha sido tu nota de Física en el primer trimestre?  
Suspense     Aprobado     Notable     Sobresaliente
6. ¿Piensas presentarte al examen de Física en la EBAU?  
Sí     No     Todavía no lo tengo claro

#### USO Y PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

7. ¿Usas el móvil o la tablet como elemento de aprendizaje en alguna asignatura en clase?  
  
No             Si             Solo en algunas asignaturas   
  
¿En cuáles?
8. Respecto a las demás asignaturas que tienes, ¿cuánto te gusta la Física?  
Nada     Poco             Normal             Bastante     Mucho
9. ¿La Física te resulta una asignatura difícil?  
Nada     Poco             Normal             Bastante     Mucho   
  
¿Por qué?

10. ¿Qué experimento has realizado durante esta experiencia?

11. ¿Crees que haber realizado ese experimento te ha ayudado a entender mejor el tema del que trataba?

Nada  Poco  Normal  Bastante  Mucho

12. Ahora que has empleado el móvil para aprender física, la experiencia, respecto de una enseñanza más tradicional, ¿te parece más atractiva?

Nada  Apenas  Igual  Bastante  Mucho

¿Por qué?

13. ¿Te gustaría realizar más experimentos con el móvil **dentro de clase** en la asignatura de Física?

Sí  No

¿Por qué?

14. ¿Te gustaría realizar más **tareas para casa** en las que tuvieras que utilizar el móvil para realizar experimentos de Física?

Sí  No

¿Por qué?

15. ¿Te gustaría realizar más actividades con el teléfono móvil en otras asignaturas? Sí  No

¿Por qué?

16. ¿Te ha resultado fácil emplear el smartphone para tomar los datos en los experimentos?

Nada  Poco  Normal  Bastante  Mucho

17. ¿Cuál ha sido la mayor dificultad que has encontrado en la tarea?

18. Crees que usar el móvil para hacer experimentos de física ¿te puede ayudar a comprender mejor los conceptos teóricos que se ven en el aula?

Nada  Poco  Normal  Bastante  Mucho

19. Después de realizar el experimento con el móvil, ¿te resulta más interesante la asignatura?

Sí  No

¿Por qué?

*Encuesta sobre el uso de dispositivos móviles en el proceso de enseñanza-aprendizaje*

---

**DATOS GENERALES**

1. Sexo:      Hombre       Mujer
2. Edad:      Menos de 40       40-50       más de 50
3. Asignaturas que impartes: .....

**TELÉFONO**

4. ¿Qué modelo de teléfono móvil tienes?.....
5. Enumera los programas (apps) de tu móvil que utilizas más frecuentemente:  
 .....  
 .....  
 .....
6. ¿Utilizas algún otro tipo de dispositivo inteligente (tablet, reloj inteligente, altavoz inteligente, etc)?  
 Si       No       ¿Cuál? .....

**SENSORES**

7. ¿Sabías que el teléfono se puede utilizar para la adquisición de datos físicos?      Sí       No
8. Si la respuesta es Sí, ¿sabes qué sensores tiene tú móvil?      Sí       No   
 ¿Podrías enumerarlos?:  
 .....  
 .....  
 ....
9. ¿Has utilizado el teléfono alguna vez para adquirir datos físicos?  
 Nunca       Apenas       Alguna vez       Con frecuencia       Muy frecuentemente
10. Si      lo      has      utilizado,      describe      para      qué:  
 .....  
 .....  
 ....

**USO DOCENTE**

11. ¿Utilizas alguna vez el móvil o la tablet como herramienta docente?  
 Nunca       Apenas       Alguna vez       Con frecuencia       Muy frecuentemente

12. Si los utilizas, ¿de qué manera?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

13. APPs que habéis utilizado en estas últimas actividades

.....  
.....  
.....

14. Contenidos y competencias del currículo que habéis cubierto con el uso de esas APPs

.....  
.....  
.....  
.....

15. Ahora que has realizado actividades docentes con el móvil, ¿seguirías utilizándolo en tus clases?

Nunca  Apenas  Alguna vez  Con frecuencia  Muy frecuentemente

16. ¿Si lo vas a seguir utilizando? ¿De qué manera?

.....  
.....  
.....

17. ¿Volverías a utilizar en concreto las mismas APPs que habéis utilizado?

Nunca  Apenas  Alguna vez  Con frecuencia  Muy frecuentemente

**PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE**

18. Antes de realizar estas actividades, ¿qué ventajas y desventajas le veías a la utilización de los teléfonos móviles como herramienta de enseñanza-aprendizaje?

.....  
 ...  
 .....  
 .....  
 .....

19. Tras realizar el experimento, ¿ha mejorado tu opinión sobre este tipo de herramientas de enseñanza-aprendizaje?

Sí  No

¿Por qué?

.....  
 .....  
 .....  
 .....

20. ¿Crees que la utilización de móviles puede facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje?

	Nada	Poco	Algo	Bastante	Mucho
En cuanto a entender los conocimientos	<input type="checkbox"/>				
En cuanto a entender y recordar los conocimientos	<input type="checkbox"/>				
En cuanto al interés de los alumnos por la asignatura	<input type="checkbox"/>				

Explica brevemente tus respuestas:

.....  
 .....  
 ...  
 .....  
 ...  
 .....  
 ...  
 .....

21. ¿Crees que el uso del teléfono móvil como herramienta de enseñanza-aprendizaje ayuda a desarrollar contenidos o competencias del currículo difíciles de alcanzar por otros métodos? ¿Por qué?

.....  
 ...  
 .....  
 .....

22. Respecto a su influencia en el desarrollo de las clases (dentro del aula):

	Nada	Poco	Algo	Bastante	Mucho
Puede hacer las clases más dinámicas y atractivas	<input type="checkbox"/>				
Puede aumentar la participación en el aula	<input type="checkbox"/>				
Facilita la interacción alumnos-profesor	<input type="checkbox"/>				
Motivan a los estudiantes en el aula	<input type="checkbox"/>				
Ha aumentado el interés por la física al emplear el móvil como herramienta de trabajo	<input type="checkbox"/>				
Favorece el trabajo colaborativo dentro del aula	<input type="checkbox"/>				

Explica brevemente tus respuestas:

.....  
 .....  
 ...  
 .....  
 ...  
 .....  
 ...  
 .....

23. ¿Qué ventajas y desventajas ves en el uso de los móviles en el aula?

Ventajas: .....

.....

.....

Desventajas: .....

.....

.....

24. Respecto a su influencia en el trabajo autónomo del alumno

	Nada	Poco	Algo	Bastante	Mucho
Puede hacer las tareas para casa más atractivas y entretenidas	<input type="checkbox"/>				
Puede servir para que un mayor número de alumnos realicen las tareas para casa	<input type="checkbox"/>				
Facilita el control de la realización de las tareas	<input type="checkbox"/>				
Mejora los hábitos de estudio de los alumnos	<input type="checkbox"/>				
Mejora el interés de los alumnos por la asignatura					
Los estudiantes valoran el uso de estas herramientas para realizar sus tareas	<input type="checkbox"/>				
A los estudiantes les han parecido útiles las Apps que han utilizado en su tarea para casa	<input type="checkbox"/>				
Ha aumentado el interés por la física al emplear el móvil como herramienta de trabajo	<input type="checkbox"/>				
Favorece el trabajo colaborativo fuera del aula	<input type="checkbox"/>				

Explica brevemente tus respuestas:

.....

.....

...

.....

.....

.....

.....

.....

.....

25. ¿Qué ventajas y desventajas ves en el uso de los móviles en el trabajo autónomo del alumno?

Ventajas: .....

.....

.....

Desventajas: .....

.....

.....

26. ¿Qué ventajas y desventajas encuentras en la utilización de los dispositivos móviles en el proceso de enseñanza/aprendizaje de la física respecto a la realización de prácticas de laboratorio tradicionales?

Ventajas:

.....  
.....  
..

Desventajas:

.....  
.....  
..

### FUTURA UTILIZACIÓN

27. ¿Tienes prevista alguna otra actividad que involucre el uso de móviles como herramienta de enseñanza/aprendizaje en el futuro?

Sí  No

Si la respuesta es Sí, describe cuál:  
.....  
.....  
...

Si la respuesta es No, da alguna razón para ello:  
.....  
.....  
.....

## Anexo 5: Examen

A continuación, se muestra el examen que realizaron los alumnos al terminar las unidades didácticas de óptica. Los dos primeros ejercicios son problemas relacionados con las leyes físicas que los alumnos deberían haber aprendido con el experimento.

### Ejercicio 1

**a)** Un sensor recibe una intensidad luminosa  $I_0$  procedente de una fuente de luz puntual situada a una distancia  $r_0 = 30$  cm del sensor. ¿A qué distancia de la fuente deberíamos colocar otro sensor para que este último recibiera la mitad de dicha intensidad? (0,50 puntos)

**b)** ¿A qué distancia de la fuente el valor de la intensidad es cero? (0,50 puntos)  
Razona tus respuestas.

### Ejercicio 2

**a)** Determina el espesor que debe tener un medio de coeficiente de absorción  $\beta = 0,8 \text{ m}^{-1}$  para que la intensidad de la luz se reduzca a la mitad tras atravesarlo. (0,50 puntos)

**b)** Si ahora tenemos un medio de mayor coeficiente de absorción ( $\beta' > \beta$ ), ¿se necesitaría un espesor mayor o menor para lograr la misma reducción de intensidad? (0,50 puntos)

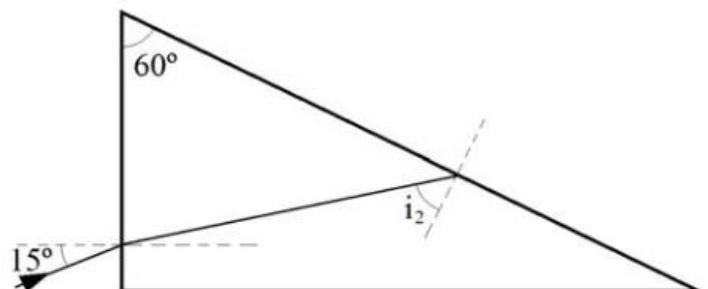
Razona tus respuestas.

### Ejercicio 3

Un prisma de sección recta triangular se encuentra inmerso en el aire. Sobre una de sus caras incide un rayo de luz, con un ángulo de incidencia de  $15^\circ$ , tal como se indica en la figura adjunta. Si el índice de refracción del prisma es 1,5, determine:

**a)** el valor del ángulo  $i_2$ ; (1,25 puntos)

**b)** si se producirá el fenómeno de la reflexión total en la cara mayor del prisma. (1,25 puntos)



### Ejercicio 4

**a)** Explique en qué consiste el defecto del ojo conocido como hipermetropía. Trace para ello un diagrama de rayos. (1,25 puntos)

**b)** Mediante un diagrama de marcha de rayos, describa las características de la imagen que forma una lente convergente cuando el objeto está situado entre el foco objeto y la lente. (1,25 puntos)

**Ejercicio 5**

**a)** ¿Qué tipo de lente es el cristalino del ojo? ¿Por qué? Razone la respuesta. (1 punto)

**b)** Un foco emite ondas electromagnéticas de frecuencia 1,5 MHz que atraviesan un medio de índice de refracción 1,5. Calcule la longitud de onda de esta radiación cuando se propaga en el aire y cuando lo hace en dicho medio. (1 punto)

*(La puntuación máxima del examen es 9. A la puntuación del examen se sumará la puntuación obtenida en la práctica realizada con el teléfono móvil).*

## Anexo 6: Tabla de medias y correlaciones

VARIABLES	R	R <sup>2</sup>	n	$\frac{ R \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}}$	$t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} = t_{0.05, 20}$	Correlación significativa
(Nota práctica realizada, Media problemas 1 y 2)	0.538	0.289	22	2.854	1.725	Sí
(Nota práctica 1, Nota problema 1)	0.177	0.031	22	0.806	1.725	No
(Nota práctica 2, Nota problema 2)	0.233	0.054	22	1.071	1.725	No
(Nota práctica, nota resto del examen)	0.588	0.346	22	3.252	1.725	Sí

Tabla 3 Correlaciones entre las notas de las prácticas y el examen. Los valores mostrados han sido redondeados a tres decimales.

VARIABLES	R	R <sup>2</sup>	n	$\frac{ R \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}}$	$t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} = t_{0.025, 20}$	Correlación significativa
(8, -9)	0.630	0.397	22	3.631	2.086	Sí
(-9, 16)	0.339	0.115	22	1.613	2.086	No
(11, 16)	0.244	0.060	22	1.125	2.086	No
(11, 18)	0.547	0.300	22	2.925	2.086	Sí
(5, 8)	0.679	0.462	22	4.141	2.086	Sí

Tabla 4 Correlaciones de los resultados de las encuestas. Los números representan el número de la pregunta de la encuesta asociada a esa variable. Los valores mostrados han sido redondeados a tres decimales.

## Bibliografía

- Alexanderfrombergen. (15 de Diciembre de 2018). *Using the Ambient Light Sensor for other purposes: Apple Developer Forums*. Recuperado el 26 de Mayo de 2019, de Apple Developer Forums: <https://forums.developer.apple.com/thread/81806>
- Alonso de Castro, M. G. (2014). Educational projects based on mobile learning. *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 15(1), 10-19. Recuperado el 28 de Mayo de 2019, de [http://campus.usal.es/~revistas\\_trabajo/index.php/revistatesi/article/view/11650/12065](http://campus.usal.es/~revistas_trabajo/index.php/revistatesi/article/view/11650/12065)
- Bouquet, F., Dauphin, C., Bernard, F., & Bobroff, J. (2019). Low-cost experiments with everyday objects for homework assignments. *Physics Education*, 54(2), 025001. doi:10.1088/1361-6552/aaf6d6
- Boyatzis, R. E., & Kolb, D. A. (1995). From learning styles to learning skills: the executive skills profile. *Journal of Managerial Psychology*, 10(5), 3-17. doi:10.1108/02683949510085938
- Cantillo Valero, C., Roura Redondo, M., & Sánchez Palacín, A. (2012). Tendencias actuales en el uso de dispositivos móviles en educación. *La educación digital magazine*, 147, 1-21.
- de Pro Bueno, A. (1998). ¿Se pueden enseñar contenidos procedimentales en las clases de ciencias? *Enseñanza de las ciencias*, 16(1), 21-41.
- Departamento de Física y Química I.E.S. José Jiménez Lozano. (19 de Octubre de 2018). Programación Didáctica 2018/2019. Valladolid.
- Feynman, R. P. (1963). Feynman's Preface. En R. P. Feynman, *Six easy pieces. Essentials of physics explained by its most brilliant teacher*.
- García García, J. J., & Perales Palacios, F. J. (2007). ¿Comprenden los estudiantes las gráficas cartesianas usadas en los textos de ciencias? *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 25(1), 107-132.
- García, Á. P. (2016/2017). *Física 2º BACHILLERATO*. McGraw Hill Smartbook.

- Gorgas García, J., Cardiel López, N., & Zamorano, C. J. (2012). Regresión lineal. En J. Gorgas García, N. Cardiel López, & C. J. Zamorano, *Estadística básica para estudiantes de ciencias* (págs. 183-205). Madrid.
- Guerri, M. (2016). *¿Qué es el Constructivismo en educación?: psicoactiva.com*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de psicoactiva.com: <https://www.psicoactiva.com/blog/que-es-el-constructivismo/>
- Han, L. (s.f.). *Soft Skills Assessment and Teaching – 3 Methods: https://bemycareercoach.com/*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de bemycareercoach.com: <https://bemycareercoach.com/soft-skills/assessment-teaching.html>
- Heckman, J. J., & Kautz, T. (2012). Hard evidence on soft skills. *Labour Economics*, 19(4), 451-464. doi:10.1016/j.labeco.2012.05.014
- IES José Jiménez Lozano. (30 de Noviembre de 2018). *Reglamento de Régimen Interior*. Recuperado el 30 de Mayo de 2019, de iesjimenezlozano.centros.educa.jcyl.es: <http://iesjimenezlozano.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/RRI2018.pdf>
- IES. José Jiménez Lozano. (27 de Enero de 2016). *Proyecto Educativo*. Recuperado el 30 de Mayo de 2019, de iesjimenezlozano.centros.educa.jcyl.es: <http://iesjimenezlozano.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/pe2016.pdf>
- Insausti, M. J., & Merino, M. (2000). Una propuesta para el aprendizaje de contenidos procedimentales en el laboratorio de Física y Química. *Investigações em Ensino de Ciências*, 5(2), 93-119. Recuperado el 25 de Mayo de 2019, de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/613/403>
- Junta de Castilla y León. (2015). ORDEN EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. *Boletín Oficial de Castilla y León*, núm. 86 de 8 de mayo de 2015, 32481- 32984.
- Koszalka, T. A., & Ntloedibe-Kuswani, G. S. (2010). Literature on the safe and disruptive learning potential of mobile technologies. *Distance Education*, 31(2), 139-157.

- Kuhn, J., & Vogt, P. (2015). *Multidisciplinary Research on Teaching and Learning*. (Basingstoke: Palgrave MacMillan).
- Lezak, M. D. (1982). The problem of assessing executive functions. *International Journal of Psychology*, 17(1-4), 281-297.
- Livingstone, S. (2012). Critical reflections on the benefits of ICT in education. *Oxford review of education*, 38(1), 9-24. doi:10.1080/03054985.2011.577938
- Lytras, M., Marouli, C., & Papadopoulou, P. (2016). Best Practices in STEM Education: Using Active Learning and Novel Teaching Methodologies in Education for Innovation and Sustainability.
- Macchia, S. (2016). Analyzing Stevin's law with the smartphone barometer. *The Physics Teacher*, 54, 373. doi:10.1119/1.4961185
- Martin, F., & Ertzberger, J. (2013). Here and now mobile learning: An experimental study on the use of mobile technology. *Computers & Education*, 68, 76-85. doi:10.1016/j.compedu.2013.04.021
- Medina-Medina, M. R. (5 de 15 de 2014). Análisis de los factores que influyen en la realización de Prácticas de Laboratorio en las etapas de Secundaria y Bachillerato. (*Trabajo de Fin de Máster*). Madrid: Universidad Internacional de La Rioja. Obtenido de <https://reunir.unir.net/handle/123456789/2663>
- Montessori Tides School. (s.f.). *Montessori Tides School Blog*. Recuperado el 7 de Junio de 2019, de <https://www.montessoritides.com/blog/ams-conference-executive-functions-and-soft-skills/>
- Nistor, A., Gras-Velazquez, A., Billon, N., & Mihai, G. (2018). *Science, Technology, Engineering and Mathematics Education Practices in Europe. Scientix Observatory report. December 2018*. European Schoolnet, Brussels.
- Onorato, P., Gratton, L. M., Polesello, M., Salmoiraghi, A., & Oss, S. (2018). The Beer Lambert law measurement made easy. *Physics Education*, 53(3), 035033. doi:10.1088/1361-6552/aab441

Organista-Sandoval, J., McAnally-Salas, L., & Lavigne, G. (Abril de 2013). El teléfono inteligente (smartphone) como herramienta pedagógica. *Apertura*, 5(1), 6-19.  
Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=68830443002>

Salinas, I., Giménez, M. H., Monsoriu, J. A., & Castro-Palacio, J. C. (2018). Characterization of linear light sources with the smartphone's ambient light sensor. *The Physics Teacher*, 56(8), 562-563. doi:10.1119/1.5064575

Tárraga Poveda, P., Bechtold, H., & de Pro Bueno, A. (2007). El uso de las prácticas de laboratorio en Física y Química en dos contextos educativos diferentes: Alemania y España. *Educatio Siglo XXI*(25), 145-166.