



Real
Sociedad
Española de
Física

R.S.E.F.

Fundación
BBVA

2019 PREMIOS DE
FÍSICA
REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FÍSICA-FUNDACIÓN BBVA





$$v = \frac{dr}{dt} = i \frac{dx}{dt} + j \frac{dy}{dt}$$

$$\angle \theta = i \cos \theta + j \sin \theta$$

$$\begin{aligned} \cos\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right) &= \cos \theta \cos \frac{\pi}{2} - \sin \theta \sin \frac{\pi}{2} \\ &= -\sin \theta \\ \sin\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right) &= \sin \theta \cos \frac{\pi}{2} + \cos \theta \sin \frac{\pi}{2} \\ &= \cos \theta \end{aligned}$$

$$v = \frac{dr}{dt} = r \frac{d\angle \theta}{dt} + \dot{r}$$

$$\frac{dv}{dt} = r \omega \frac{d\angle \theta}{dt} + \ddot{r}$$

$$d^2r = r \omega^2 r + \ddot{r}$$

PRESENTACIÓN

Los Premios de Física Real Sociedad Española de Física-Fundación BBVA reconocen la creatividad, el esfuerzo y el logro en el campo de la física con el fin de servir de estímulo a los profesionales que desarrollan su labor tanto en la investigación —con especial atención a los jóvenes— como en los ámbitos de las enseñanzas secundaria y universitaria, la innovación, la tecnología y la divulgación. La Fundación BBVA colabora con estos premios desde 2008 en el marco de su actividad de promoción de la investigación de excelencia y la difusión del conocimiento científico a la sociedad.

Dotados con 50.000 euros distribuidos entre todas sus categorías, los galardones fueron instaurados por la RSEF en 1958 y son ya una tradición en el ámbito de la física española, una comunidad sólidamente vertebrada. Con su apoyo a estos premios, la Fundación BBVA quiere dar impulso y visibilidad a los mejores investigadores de nuestro país en esta disciplina científica tan fundamental para la búsqueda del conocimiento y el desarrollo de nuevas herramientas tecnológicas.

PREMIADOS

Medalla de la Real Sociedad Española de Física Eugenio Coronado Miralles	6
Premio Física, Innovación y Tecnología Carlos Dorronsoro Díaz	8
Premio Investigador Joven en Física Teórica Carlos Hernández García	10
Premio Investigador Joven en Física Experimental Laura Rodríguez Arriaga	12
Premio Enseñanza y Divulgación de la Física en Enseñanza Media Miguel Ángel Queiruga Dios	14
Premio Enseñanza y Divulgación de la Física en Enseñanza Universitaria Santiago Velasco Maíllo	16
Premio Mejor Artículo de Enseñanza en las Publicaciones de la RSEF Isabel Salinas Marín, Marcos H. Giménez, Juan A. Sans, Juan C. Castro-Palacio, Juan A. Monsoriu	18
Premio Mejor Artículo de Divulgación en las Publicaciones de la RSEF María del Prado Martín Moruno	20

EUGENIO CORONADO MIRALLES

MEDALLA DE LA REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FÍSICA

“ Por ser uno de los pioneros mundiales del magnetismo y la espintrónica molecular, con un marcado liderazgo internacional en distintas instituciones y un alto impacto y reconocimiento. Ha abierto nuevas vías de avance en computación cuántica y en nuevos materiales. ”

Eugenio Coronado Miralles (Valencia, 1959) es el único científico ganador de la Medalla de dos reales sociedades españolas: la de Química, en 2009, y la de Física en esta presente edición. La razón de esta duplicidad —de la que Coronado se muestra orgulloso— la explica él mismo: «Trabajo en ciencia de materiales, un área en la frontera entre la física y la química».

Catedrático de Química Inorgánica de la Universitat de València y director del Instituto de Ciencia Molecular (ICMol), Coronado ha liderado a escala internacional durante los últimos veinticinco años la investigación en magnetismo molecular, un área estrechamente relacionada con tecnologías como la espintrónica molecular y la





computación cuántica, y que ha generado novedosos materiales híbridos multifuncionales, con propiedades a menudo inesperadas.

En realidad, lo que ocurre hoy en ciencia de materiales es que «se investiga a escala nanométrica, y ahí la frontera química-física desaparece —señala el galardonado—. El control de la materia a nivel de las moléculas, el control nanométrico, es esencial. Permite hacer materiales con propiedades nuevas utilizando materias primas de siempre. Yo hago materiales moleculares con propiedades eléctricas, magnéticas u ópticas que se basan en moléculas; primero tengo que hacer la molécula, que es un objeto nano, y luego ensamblarlo de la manera adecuada para obtener las propiedades que busco».

Controlando el ensamblado de piezas nanométricas de materia, Coronado ha obtenido, por

ejemplo, materiales moleculares que son a la vez magnéticos y superconductores, o que responden a un estímulo externo como la luz. «Si los ilumino, sus propiedades cambian», explica. Es una exploración llena de sorpresas: «Siempre encuentras efectos que no esperabas encontrar», y que abre vías a avances tecnológicos. Muestra de ello es el trabajo de su grupo en computación cuántica, una aproximación molecular que permitirá hacer bits cuánticos más robustos en un sistema escalable.

Un logro que le satisface especialmente es la creación de escuelas sobre temas en la frontera entre la física y la química. En magnetismo molecular, señala Coronado, «hemos conseguido que Europa sea pionera, muy por delante de Estados Unidos y Japón».

CARLOS DORRONSORO DÍAZ

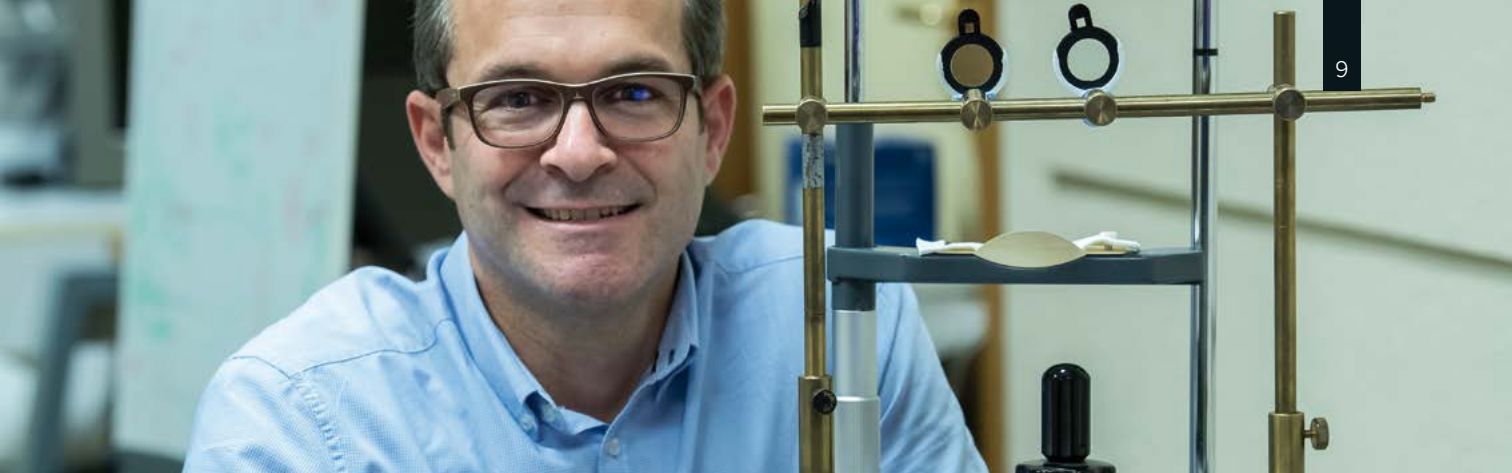


PREMIO FÍSICA, INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

“ Por su investigación encaminada al desarrollo y transferencia de tecnologías ópticas con impacto social y económico. Su carrera siempre ha estado ligada a la innovación en física, identificando oportunidades empresariales. ”

Carlos Dorronsoro Díaz (Granada, 1972) es vicedirector del Instituto de Óptica Daza de Valdés del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y cofundador de 2Eyes Vision, una *start up* galardonada en foros internacionales sobre emprendimiento, que comercializa un simulador para experimentar la visión que tendrían los pacientes con los distintos modelos de lentes intraoculares antes de someterse a la cirugía.

Es solo el último logro en una carrera «de insólita diversidad» —afirma Juan Diego Ania, director del Daza de Valdés, en su carta de presentación al galardonado—. En las últimas dos



décadas, Dorronsoro «ha recorrido todo el itinerario entre el laboratorio de investigación y la generación de impacto social y económico», ejerciendo de «científico, tecnólogo, gestor, empresario y directivo» para llevar al mercado la tecnología fruto de su investigación.

Ha cofundado cuatro empresas y es coinventor de 21 patentes en cirugía refractiva y de cataratas, procesado de imágenes y microscopía, entre otras áreas. Una quincena de estas patentes —con cotitulares como el CSIC, el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) o la Harvard Medical School— han sido licenciadas a empresas nacionales e internacionales.

El comienzo mismo de su carrera está ligado a la RSEF. Como ganador en unas Olimpiadas de Física, esta sociedad le concedió una beca de estudios, que fue prolongada cuando, por motivos de salud, estos debieron extenderse. Fue «un gran apoyo también emocional», afirma

Dorronsoro, que no pudo mostrar en esa época su mejor expediente académico.

De esa circunstancia surgió la oportunidad. En desventaja para acceder a los mejores destinos de investigación, Dorronsoro empezó a trabajar en Suiza para la empresa Leica: «Lo que aprendí marcó mi carrera. Fue muy importante contar con el apoyo de técnicos y desarrolladores de productos, enfrentarme a restricciones financieras y orientar la investigación a un producto —afirma el premiado—. Después volví al mundo académico, pero siempre pensando en la dimensión social de los resultados de investigación».

La óptica es una disciplina transversal, y de hecho en su grupo hay actualmente científicos de numerosas áreas. Colaboran con decenas de empresas e instituciones en todo el mundo y de diversos sectores. «No vivimos la fuga de cerebros, sino el intercambio: vienen a aprender lo que hacemos nosotros, igual que vamos nosotros».

CARLOS HERNÁNDEZ GARCÍA

PREMIO INVESTIGADOR JOVEN EN FÍSICA TEÓRICA

“ Por sus importantes contribuciones a una nueva generación de láseres ultrarrápidos, altos armónicos generados por láser y a la ciencia de rayos X. Sus modelos predictivos han sido demostrados experimentalmente. ”

Carlos Hernández García (Salamanca, 1984) trabaja generando pulsos láseres ultrarrápidos. Tan rápidos que pueden transcurrir en la trillonésima parte de un segundo, en lo que se conoce como attosegundo. «Un attosegundo es a un segundo lo que un segundo a la edad del universo», señala el joven investigador con el fin de poder explicar la asombrosa velocidad de esta unidad de tiempo.

En ese espacio, Hernández García puede crear pulsos láser ultracortos con polarización a la carta —lo que supuso un hito en la generación de herramientas ópticas ultrarrápidas y cuyo resultado se publicó en la revista *Nature Photonics*—que le permiten observar procesos aún





desconocidos en la naturaleza e interactuar con algunos materiales que de otra forma no sería posible. La polarización, que puede ser lineal, circular o elíptica, es la dirección en la que oscilan las ondas electromagnéticas de la luz. Estos pulsos son destellos de luz ultravioleta, muy breves, que permiten observar los componentes más básicos de la materia. «Por ejemplo, un electrón tarda en orbitar un núcleo atómico unos 100 attosegundos aproximadamente», señala.

El joven investigador, que en 2017 obtuvo una Beca Leonardo a Investigadores y Creadores Culturales de la Fundación BBVA en Ciencias Básicas, ha recibido el premio en la categoría de Investigador Joven en Física Teórica «por sus importantes contribuciones a una nueva generación de láseres ultrarrápidos, altos armónicos generados por láser y a la ciencia de rayos X», como dicta el acta del jurado.

En esta área de la física, que comenzó a finales de los años noventa, el investigador está

explorando nuevos caminos: «Ahora estamos dotando a estos pulsos láser de nuevas propiedades de movimiento angular y orbital para generar torbellinos de luz», indica. Este movimiento, que se conoce como torque, consiste en acelerar o frenar la velocidad de rotación de los vórtices de luz.

Por ahora, se desconocen las aplicaciones que podría alcanzar. «Todavía tenemos que entender esta nueva física, pero pensamos que puede tener importancia en el ámbito de la nanotecnología», explica.

Hernández García, que se doctoró en la Universidad de Salamanca, donde ahora es investigador Ramón y Cajal en el Departamento de Física Aplicada, resalta que sus avances se deben, también, al equipo del que forma parte, el grupo de Investigación en Aplicaciones del Láser y Fotónica de la Universidad de Salamanca (ALF-USAL): «No entiendo la ciencia sin un trabajo en grupo».

LAURA RODRÍGUEZ ARRIAGA



PREMIO INVESTIGADOR JOVEN EN FÍSICA EXPERIMENTAL

“ Por contribuciones con una gran proyección de futuro e impacto internacional a la física experimental de la materia condensada blanda, un área científica interdisciplinar con múltiples aplicaciones en físico-química, biología y ciencia de materiales. ”

A la hora de elegir carrera, todo el mundo le decía que estudiase una ingeniería. Sin embargo, ella no tenía vocación. «Siempre he tenido más interés en entender cómo funcionan las cosas que por hacerlas funcionar», señala Laura Rodríguez Arriaga (Madrid, 1981), y por eso decidió estudiar Química en la Universidad Complutense de Madrid y, mientras hacía la tesis doctoral, simultanearla con la licenciatura de Física.

Desde entonces, su trayectoria científica se ha desarrollado en el campo de la física experimental de la materia blanda, un área en la que se aúnan la física, la química, la biología y la ciencia de materiales. Así, «por sus contribuciones a esta área científica multidisciplinar, por sus



múltiples aplicaciones en físico-química, biología y ciencia de materiales, con una enorme proyección internacional», el jurado ha decidido otorgarle el Premio a Investigador Joven en Física Experimental, además de destacar la «gran proyección de futuro» de su trabajo.

Tras doctorarse, se trasladó al Laboratoire de Physique des Solides de la Universidad París-Sur como investigadora posdoctoral, donde estudió sistemas coloidales, como son las espumas para cualquier tipo de aplicación. «Allí medíamos las propiedades físicas de esas espumas para generar otras con la mayor estabilidad posible», explica la premiada, que trabajó con parámetros como el tamaño de las burbujas evitando la difusión de aire, o con su termodinámica para hacerlas más estables.

Posteriormente se trasladó a la Universidad de Harvard (Estados Unidos), donde se centró en desarrollar nuevas técnicas microfluídicas

aplicadas al estudio de vesículas, unas gotas estabilizadas por una doble capa de lípidos, similar a la membrana celular. «Consiste en controlar el flujo de fluidos a través de canales que tengan dimensiones micrométricas y, de este modo, generar gotas de emulsión de jerarquía, como gotas de agua y aceite, donde incremento el orden jerárquico para poder desarrollar plantillas de nuevos materiales», indica la investigadora. Gracias a esta técnica, las vesículas sirven como modelo para entender las propiedades mecánicas de las membranas celulares y, así, pueden encapsular, con alto grado de eficiencia, cualquier material.

En la actualidad, es profesora contratada doctora en el Departamento de Química Física de la Universidad Complutense de Madrid. De cara al futuro, su proyecto se encamina hacia el desarrollo de vesículas que se conviertan en células artificiales, a las que quiere dotar de capacidad de movimiento o de transferir proteínas.

MIGUEL ÁNGEL QUEIRUGA DIOS



PREMIO ENSEÑANZA Y DIVULGACIÓN DE LA FÍSICA ENSEÑANZA MEDIA

“ Por una brillante trayectoria pedagógica que incluye la participación en numerosas actividades de enseñanza y divulgación nacionales e internacionales, destacando su capacidad de involucrar a los estudiantes. ”

Miguel Ángel Queiruga (Ribeira, A Coruña, 1967) lleva más de dos décadas dando clase en secundaria y bachillerato, y ese bagaje le permite ser rotundo: «Lo que nos abre la mente, lo que nos hace ser creativos, es vivir experiencias». Sus alumnos han vivido algunas que la mayoría calificaría de privilegiadas, como ser finalistas en ferias internacionales de ciencia o participar en proyectos colaborativos con estudiantes de otros países. Y en todas esas aventuras, el punto de partida fue la gran motivación que les transmitió Queiruga.

«El primer día de clase suelo decirles que quiero ayudarles a que salgan de su casilla, a que conozcan nuevas cosas, a que asuman retos y



vean hasta dónde quieren llegar, porque el límite lo ponen ellos» cuenta este profesor del Colegio Jesús-María, de Burgos.

Queiruga es licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad de Salamanca, doctor por la Universidad de Burgos en Enseñanza de la Física y experto en aplicaciones multimedia. Compagina su trabajo en el colegio con el de profesor en el Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Burgos.

Autor de seis libros de divulgación sobre física y enseñanza de la física, ha sido embajador adjunto del Proyecto Scientix, una red para profesores europeos de ciencias apoyada por la Comisión Europea. Además, ha sido seleccionado como *EU Code Week Leading Teacher*, lo que le convierte en promotor de iniciativas que impulsan la creatividad de los estudiantes a través de la creación y uso de la tecnología.

«Nunca he sabido qué contestar cuando me preguntan por qué soy profesor —señala Queiruga—. Fue algo natural, me veía enseñando a los demás; disfruto muchísimo intentando que los estudiantes aprendan, guiándoles».

Para «llegar a los estudiantes» recurre a métodos que hacen posible una interacción continua profesor-alumno, y con la ciencia. Y un aspecto clave: parte de la curiosidad natural de los jóvenes. De su deseo de entender el cerebro, por ejemplo, se llega a la electricidad; del ADN, a las fuerzas fundamentales: «Partiendo del sistema nervioso, podemos estudiar cómo se propaga la corriente; del ADN, podemos analizar las fuerzas que rigen las interacciones entre los átomos... Intento siempre orientar lo que quieren comprender al currículo, trabajándolo de manera multidisciplinar».

SANTIAGO VELASCO MAÍLLO



PREMIO ENSEÑANZA Y DIVULGACIÓN DE LA FÍSICA ENSEÑANZA UNIVERSITARIA

“ Por su implicación y demostrada solvencia en actividades de enseñanza y divulgación a todos los niveles, lo que abarca desde la organización de encuentros para estudiantes, al acercamiento de la física a colectivos desfavorecidos o en riesgo de exclusión. ”

Cuando Santiago Velasco Maíllo (Béjar, Salamanca, 1951) se enfrenta a su público, lo hace —según sus propias palabras— «con el corazón», porque sabe que debe «contagiar pasión». Lo mismo da si se dirige a niños de cinco años, estudiantes de secundaria, personas con discapacidad intelectual, universitarios o presidiarios. Velasco podría ser actor, y de hecho dice tener que serlo un poco «para cautivar», aunque en realidad es catedrático de Física Aplicada en la Universidad de Salamanca.

Imparte clases de Física, Geología, Ingeniería Geológica y Ciencias Ambientales, además de en varios másteres. Es autor de ocho libros de texto universitarios y de secundaria, y de



cincuenta publicaciones especializadas. También es profesor en el Programa Interuniversitario de la Experiencia, para mayores de 55 años, en las dos universidades salmantinas.

Pero desde hace décadas su influencia supera con mucho el ámbito universitario. Ha impartido más de un centenar de charlas en museos, colegios, planetarios, colegios mayores, asociaciones, ayuntamientos e incluso cafés. «Una de mis actividades más ilusionantes es cultivar el interés por la ciencia en los niños. Intento estimular el razonamiento científico, aunque siempre de modo que las presentaciones no queden nunca en una mera exhibición de experimentos», indica. Desde 2014, también habla de física a colectivos con dificultades de aprendizaje o marginales: «La experiencia es magnífica».

¿Por qué lo hace? Porque «la física es maravillosa —explica el propio Velasco— y porque vi-

vimos en un entorno muy tecnológico, y es importante entender su base científica. Para preservar el entorno, por ejemplo, o en cuestiones de salud..., si la gente tiene que decidir, tiene que conocer. Los científicos tenemos un papel clave. También por cultura. Las encuestas sobre cultura científica en España no nos dejan muy bien parados, y es preocupante. Una sociedad de conocimiento es más libre y responsable».

La receta para divulgar bien incluye «conocimiento, pasión e imaginación», lo que tenían a raudales sus dos grandes ídolos: Michael Faraday y, más próximo en el tiempo, Carl Sagan. «La serie *Cosmos* era absolutamente fantástica; te quedabas con los ojos abiertos, con la boca abierta... Pensabas: ¡Eso quiero aprender yo; eso quiero enseñar yo!».

PREMIO MEJOR ARTÍCULO DE ENSEÑANZA EN LAS PUBLICACIONES DE LA RSEF



ISABEL SALINAS MARÍN
MARCOS H. GIMÉNEZ
JUAN A. SANS
JUAN C. CASTRO-PALACIO
JUAN A. MONSORIU

Se recuerda a menudo que tenemos en el bolsillo un ordenador mucho más potente que el que llevó a la humanidad a la Luna. Desde 2013, un grupo de profesores de la Universitat Politècnica de València idea estrategias para que entre los numerosos usos de los *smartphones* se incluya el de servir de instrumento para la enseñanza de la física. Es el Proyecto SmartPhysics. Un artículo basado en una experiencia de esta iniciativa ha sido galardonado con el Premio al Mejor Artículo de Enseñanza en las publicaciones de la RSEF.

«La idea es que el alumno vea que su teléfono sirve para mucho más que para hacer llamadas o estar en las redes sociales», explica Juan A. Monsoriu, responsable de SmartPhysics. «Usamos el móvil para acercar a los alumnos al mundo tecnológico y como elemento motivador en la clase».

El objetivo fundamental de esta iniciativa es la integración de los *smartphones* en las prácticas de Física y Tecnología, utilizándolos como dispositivos de medida en la educación secundaria

“ Por su artículo *Cómo visualizar oscilaciones forzadas en tu smartphone*, en el que con un teléfono inteligente diseñan un experimento que permite a los estudiantes familiarizarse con distintos conceptos de física clásica. ”

Notas de clase

Una opción en la que incorporan experimentos de laboratorio
Cómo visualizar las oscilaciones forzadas en tu smartphone



Isabel Salinas
 Dept. de Física Aplicada, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla, Universidad de Sevilla

Marcos H. Soto
 Dept. de Física Aplicada, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla, Universidad de Sevilla

José A. Ruiz
 Dept. de Física Aplicada, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla, Universidad de Sevilla

José J. Castro-Pedraza
 Department of Applied Sciences, Faculty of Engineering, University of Zaragoza, Zaragoza, Spain

Rodrigo A. Matorras
 Dept. de Física Aplicada, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla, Universidad de Sevilla

En este artículo se describe una nueva experiencia didáctica para el estudio de las oscilaciones forzadas en un laboratorio que presentan los dispositivos sucesivos para adaptar valores de frecuencia y amplitud de oscilación externa, sobre un móvil vibrador a un canal visualizado en pantalla. Este sistema de dispositivos se utiliza un smartphone. Mediante una app para Android se puede controlar el sensor de aceleración incorporado en el mismo que se puede alternar con un fichero externo, de manera que se puede almacenar en un fichero externo los datos de tiempo y aceleraciones registradas, al mismo tiempo que las representaciones gráficas en la pantalla. Este sistema permite la visualización inmediata de la aceleración y la representación con diversos modos de vibración en particular el movimiento forzado con amortiguamiento. Se trata de una herramienta sencilla para explicar un proceso complejo.

La realidad actual está inmersa en un mundo digital que la sociedad actual vive con una velocidad vertiginosa. Con la utilización de programas y una velocidad creciente, los teléfonos inteligentes (móviles o smartphones) han revolucionado la manera de trabajar y de aprender. Por ello, el uso de las nuevas tecnologías en la enseñanza es una necesidad para mejorar la calidad de la enseñanza y garantizar una educación de alta calidad. En este artículo se describe una experiencia didáctica en un laboratorio de física que permite a los estudiantes visualizar y analizar los datos de tiempo y aceleraciones registradas, al mismo tiempo que las representaciones gráficas en la pantalla. Este sistema permite la visualización inmediata de la aceleración y la representación con diversos modos de vibración en particular el movimiento forzado con amortiguamiento. Se trata de una herramienta sencilla para explicar un proceso complejo.

El objetivo de este trabajo es enseñar el movimiento de un móvil en un laboratorio de física que permite a los estudiantes visualizar y analizar los datos de tiempo y aceleraciones registradas, al mismo tiempo que las representaciones gráficas en la pantalla. Este sistema permite la visualización inmediata de la aceleración y la representación con diversos modos de vibración en particular el movimiento forzado con amortiguamiento. Se trata de una herramienta sencilla para explicar un proceso complejo.

donde k es la constante elástica del muelle.
 En segundo lugar, la fuerza disipativa, F_d , debida a la fricción entre la horquilla y el carril. Su valor se modela de la siguiente manera: $F_d = -\gamma \dot{x}$, donde γ es el coeficiente de amortiguamiento [4].
 Finalmente, el vibrador oscilatorio aplica una fuerza externa periódica, $F_m = F_0 \cos(\omega t)$ que tiene la forma:

$$F_m = F_0 \cos(\omega t) \quad (1)$$

donde F_0 es la amplitud de la fuerza.
 Considerando estas tres fuerzas en la segunda ley de Newton, se llega a la ecuación diferencial:

$$m \ddot{x} + \gamma \dot{x} + kx = F_0 \cos(\omega t) \quad (2)$$

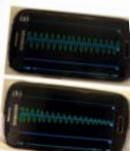
donde $m = \sqrt{m_0}$ es la población libre (no amortiguada) y $\gamma = \gamma_0 + \gamma_1$ es la constante de amortiguamiento. Cuando se conecta el smartphone se registra la aceleración, al cambiar derivar respecto al tiempo la ecuación anterior dos veces, resultando:

$$m \ddot{a} + \gamma \dot{a} + ka = -\omega^2 x \quad (3)$$

Se trata de una ecuación diferencial de segundo orden, de coeficientes constantes y completa. La solución general es la superposición de la correspondiente a la ecuación homogénea y una particular de la completa. Matemáticamente, en el caso de un amortiguamiento débil, dicha solución viene dada por:

$$x = A e^{-\gamma t/2m} \cos(\omega t + \phi) + B \cos(\omega t + \theta) \quad (4)$$

El primer sumando es una función transitoria (tiende a cero con el tiempo) y se corresponde con la ecuación de un muelle amortiguado débil de población $m = \sqrt{m_0}$. El segundo sumando es la solución particular de la Ecu. (3), la cual coincide con la solución particular de la Ecu. (2) si se reemplaza \ddot{x} por a . Los parámetros A y B y ϕ y θ dependen de las condiciones iniciales del sistema, es decir, de los valores $x(0)$ y $\dot{x}(0)$ por lo que los resultados experimentales se muestra en la



se en la ecuación anterior (1) a (3). Sumando (1) y (3) se obtiene el movimiento amortiguado y se obtiene el movimiento amortiguado débil. En otros casos particulares, los términos característicos de la ecuación anterior (1) a (3) se cancelan y se obtiene un movimiento no amortiguado. Como este dispositivo experimental no es muy preciso, se que se se obtiene mucha el ruido en el carril, la fuerza disipativa F_d dada por $F_d = -\gamma \dot{x}$, donde γ es el coeficiente de amortiguamiento débil, dicha solución viene dada por:

$$x = A \cos(\omega t + \phi) + B \cos(\omega t + \theta) \quad (5)$$



Notas de clase

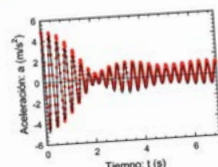


Fig. 1. Datos experimentales (puntos rojos) de la aceleración de un móvil con amortiguamiento débil. Se muestra también el ajuste de la función teórica de la Ecu. (5).

Tabla 1. Valores y frecuencias de las poblaciones atómicas	
A (m/s ²)	4.12 (0.26)
B (m/s ²)	20.85 (0.81)
ϕ (rad)	1.52 (0.02)
θ (rad)	0.91 (0.01)
ω (rad/s)	0.91 (0.02)
Γ (rad/s)	18.77 (0.68)
Γ_0 (rad/s)	0.84 (0.04)
Γ_1 (rad/s)	0.089

del ajuste $\omega = 0.91$ y $\Gamma = 18.77$ se puede obtener la población libre (no amortiguada) $m_0 = \sqrt{m} = \sqrt{20.85 / 0.0101} \approx 45.7$. A partir de este valor se calcula la constante elástica del muelle experimental $k_0 = m_0 \omega^2 = 185.35$ (0.18) N/m, valor que comparado con la constante teórica del muelle $k = 189$ (7) N/m supone una discrepancia de 1.9%.

Conclusiones

Con el desarrollo del presente trabajo se ha demostrado que los smartphones, haciendo uso de su sensor de aceleración, pueden ser utilizados en el estudio cuantitativo de las oscilaciones forzadas. El objetivo de este tipo de iniciativas es la divulgación fundamental de estos elementos de desarrollo tecnológico y social en el trabajo experimental del Laboratorio (3). En concreto, el presente experimento está enfocada a los alumnos de la presente experiencia en el curso de Física de Bachillerato de los centros de enseñanza superior. También es una experiencia de aprendizaje a alumnos brillantes de Bachillerato de Excelencia o de los que se están preparando para la Olimpiada de Física.

Referencias

1. P. Voss y J. Voss, "Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor", *Phys. Teach.* 50 (2012) 182.
2. I. Castro, L. Muñoz, S. López y A. Ruiz, "Teaching classical mechanics using smartphones", *Phys. Teach.* 51 (2013) 376.
3. J. Ruiz y P. Voss, "Smartphones as experimental tools: different methods to determine the gravitational acceleration in classroom", *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* 4 (2013) 16.
4. J. C. Castro-Pedraza, J. Voss y R. Ariza, M. González y A. Ruiz, "Los resultados experimentales se muestra en la

y universitaria gracias a los distintos sensores que incorporan: acelerómetro, sensor de luz, sensor de campo magnético, etcétera.

«En vez de usar sensores clásicos, como fotocélulas, que están en todos los laboratorios, el teléfono del alumno es el instrumento de medida. Por ejemplo, el acelerómetro mide la aceleración del propio teléfono y, luego, esos datos los exportamos a un fichero de texto para que los alumnos lo ajusten a la formulación teórica que caracteriza el movimiento», explica Monsoriu.

Se trata de generar una nueva perspectiva en el campo de las ciencias de la educación, introduciendo elementos de desarrollo tecnológico y social en el trabajo experimental de laboratorio. Los resultados de esta nueva estrategia pedagógica no dejan lugar a dudas: «El móvil de los alumnos es la vía para mejorar la motivación. Al final, los contenidos que aprenden son similares, pero los estudiantes están más atentos cuando usamos los smartphones. Les gusta mucho esa manera de trabajar. Y desde luego la clave es la motivación. Al alumno desmotivado lo pierdes, y así... se les nota que lo viven».

MARÍA DEL PRADO MARTÍN MORUNO



PREMIO MEJOR ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN EN LAS PUBLICACIONES DE LA RSEF

“ Por su artículo *Monólogo de una gravitona en crisis de identidad. O sobre las teorías alternativas de gravedad*, que introduce a los lectores en el mundo de la física gravitacional con originalidad y un estilo atractivo. ”

María del Prado Martín Moruno (Madrid, 1981) es investigadora posdoctoral en la Universidad Complutense de Madrid, donde imparte Física Teórica y, dentro del programa Universidad para Mayores, la materia Desafíos de la Ciencia. Está ya acostumbrada a que se le acerque alguno de sus alumnos menos jóvenes a decirle: «Pero si no te voy a entender, que soy de letras». Martín Moruno quiere demostrar que ese pronóstico es erróneo.

«La divulgación de la física y de la ciencia en general es importante, porque es conocimiento del que todos podemos aprender y que todos podemos compartir —explica la premiada—.

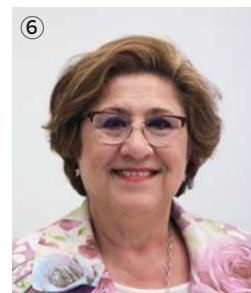
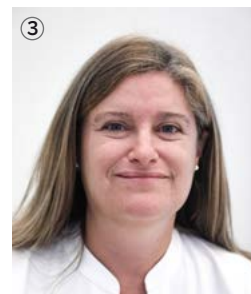
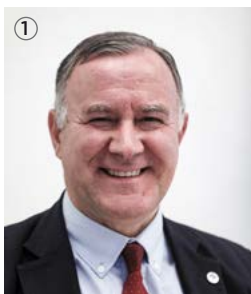
JURADO

CATEGORÍAS:

MEDALLA DE LA REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FÍSICA
PREMIO INVESTIGADOR JOVEN EN FÍSICA TEÓRICA
PREMIO INVESTIGADOR JOVEN EN FÍSICA EXPERIMENTAL

PRESIDENTE

- ① **MIGUEL Á. F. SANJUÁN**
Catedrático de Física
Universidad Rey Juan Carlos
Editor general de la Real Sociedad
Española de Física



VOCALES

- ② **PABLO ARTAL SORIANO**
Catedrático de Óptica
Universidad de Murcia

- ④ **RAFAEL RODRIGO MONTERO**
Profesor de investigación
Secretario general de Coordinación
de Política Científica
Ministerio de Ciencia, Innovación
y Universidades

- ⑤ **JOSÉ MIGUEL RUBÍ CAPACETI**
Catedrático de Física
Universitat de Barcelona

- ③ **SUSANA MARCOS CELESTINO**
Profesora de investigación
Instituto de Óptica Daza Valdés,
CSIC

- ⑥ **PERLA WAHNÓN BENARROCH**
Catedrática de Química Física
Universidad Politécnica de Madrid
Presidenta de la Confederación
de Sociedades Científicas de España
(COSCE)

JURADO

CATEGORÍAS:

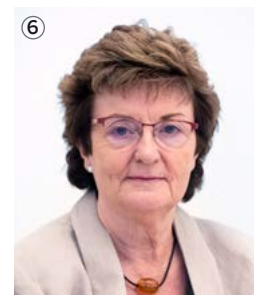
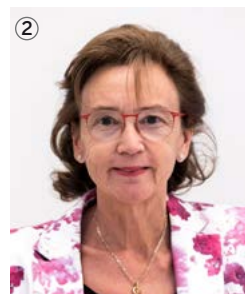
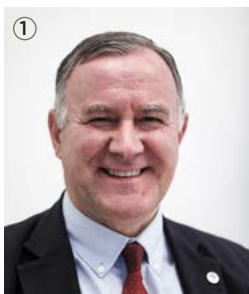
FÍSICA, INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

ENSEÑANZA Y DIVULGACIÓN DE LA FÍSICA EN ENSEÑANZA UNIVERSITARIA Y EN ENSEÑANZA SECUNDARIA

MEJORES ARTÍCULOS DE ENSEÑANZA Y DE DIVULGACIÓN EN LAS PUBLICACIONES DE LA RSEF

PRESIDENTE

- ① **MIGUEL Á. F. SANJUÁN**
Catedrático de Física
Universidad Rey Juan Carlos
Editor general de la Real Sociedad
Española de Física



VOCALES

- ② **M.ª JOSÉ GARCÍA BORGE**
Profesora de investigación
Instituto de Estructura de la Materia,
CSIC

- ④ **HERNÁN MÍGUEZ GARCÍA**
Profesor de investigación
Instituto de Ciencia de Materiales
de Sevilla, CSIC

- ⑥ **PALOMA VARELA NIETO**
Catedrática de Física y Química
Universidad Complutense de Madrid

- ③ **LAURA LECHUGA GÓMEZ**
Profesora de investigación
Jefa de grupo
Institut Català de Nanociència
i Nanotecnologia, CSIC

- ⑤ **JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RON**
Catedrático de Historia de la Ciencia
Universidad Autónoma de Madrid
Académico
Real Academia Española



R.S.E.F.

www.rsef.es

Real
Sociedad
Española de
Física

Fundación
BBVA

www.fbbva.es