

La Colección de Demostraciones Experimentales de Física para el Aula de la UVEG: la recuperación de un recurso docente.

The collection of Physics Experimental Demonstrations for the lecture hall in the UVEG: retrieving a teaching resource

Ch Ferrer-Roca, R. Cases, A. Cros, N. Garro, M. J. Hernández, D. Martínez, R. Pedrós, F. Silva, E. Valor, J. Zúñiga, *Facultad de Física, Universitat de Valencia*. Email de contacto: chantal.ferrer@uv.es

Abstract

Experimental physics demonstrations (or demos) are an indispensable resource for physics teaching with a large tradition in many countries, even if not in ours. Physics demos are simple experimental devices that allow the observation of physical phenomena "in situ" during the lectures in order to improve conceptual understanding. A working group in the Physics Faculty at the University of Valencia has developed a collection of physics demos for lectures, available to any professor, and contains around 100 demos on different general physics topics and is used by approximately 30 lecturers involved in 20 physics courses in 17 different university degrees, with more than 2000 students involved. In this paper we describe the Project [1]: the demo collection and its academic uses, the expected benefits and the challenges and problems we face when teaching university introductory physics with the aid of these experimental devices. This infrastructure of teaching resources is unique in Spain and is an example of a cooperative endeavor that can also be extended to other types of initiatives.

Keywords: physics demonstrations or physics demos, physical phenomena, experiments, history of scientific demonstrations, teaching teamwork.

Resumen

Las demostraciones experimentales son una herramienta docente imprescindible en la docencia de la Física y que cuenta con gran tradición en muchos países, aunque no en el nuestro. Se trata de dispositivos experimentales sencillos que permiten la observación de fenómenos físicos "in situ" durante las clases, con el objetivo de mejorar la comprensión conceptual. Un grupo de trabajo de la Facultad de Física de la Universidad de Valencia ha desarrollado una colección disponible para todo el profesorado que contiene cerca de 100 demostraciones experimentales de diferentes temas de Física general y es utilizada por unos 30 docentes involucrados en unas 20 asignaturas de Física de 17 grados diferentes de ciencias e ingeniería, con más de 2000 estudiantes. En este artículo se describe el proyecto [1]: la colección de demostraciones de Física y sus usos académicos, los beneficios esperados y los desafíos y problemas a que se enfrentan quienes utilizamos estos dispositivos experimentales en nuestra docencia. Esta infraestructura de recursos docentes es única en España y representa un ejemplo de trabajo cooperativo que también se puede extender a otro tipo de iniciativas.

Palabras clave: demostración experimental o demostración de cátedra, fenómenos físicos, experimentos, historia de demostraciones de Física, cooperación docente.

Resum

Les demostracions experimentals són una eina docent imprescindible en la docència de la Física que compta amb gran tradició en molts països, encara que no en el nostre. Es tracta de dispositius experimentals senzills que permeten l'observació de fenòmens físics "in situ", durant les classes, amb l'objectiu de millorar la comprensió conceptual. Un grup de treball de la Facultat de Física de la Universitat de València ha desenvolupat una col·lecció de demostracions disponible per a tot el professorat que conté prop de 100 demostracions experimentals de diferents temes de Física general i és utilitzada per uns 30 docents involucrats en 20 assignatures de Física de 17 graus diferents, amb més de 2000 estudiants. En aquest article es descriu el projecte [1]: la col·lecció de demostracions de Física i els seus usos acadèmics, els beneficis esperats i els desafiaments i problemes a que s'enfronten qui utilitzem aquests dispositius experimentals en la nostra docència. Aquesta infraestructura de recursos docents és única a Espanya i representa un exemple d'esforç cooperatiu que també es pot estendre a altre tipus d'iniciatives.

Paraules clau: demostració experimental o demostració de càtedra, fenòmens físics, experiments, cooperació docent.

1. Introducción

Las demostraciones de Física (abreviadas también *demos* en inglés) son dispositivos experimentales sencillos que permiten la observación de fenómenos físicos en conexión con los contenidos teóricos. Pueden utilizarse durante las clases de teoría, de problemas o de tutorías y permiten una observación y discusión *in situ* de los fenómenos que estos dispositivos ponen de manifiesto.

La observación guiada de los fenómenos reales y su discusión desde los modelos teóricos puede ser muy efectiva para comprender los conceptos y principios fundamentales de la Física. Utilizadas adecuadamente, las demostraciones de física ayudan a interiorizar esa compleja correspondencia realidad-teoría que característica del método científico [2]. Se añade a éste otro objetivo importante: desarrollar una actitud inquisitiva, una curiosidad sobre el mundo físico de una forma que también puede ser muy atractiva.

Hace aproximadamente diez años, la comisión que desarrolló el proyecto europeo *Tuning* de Física, estableció los resultados del aprendizaje que debían ser comunes a todos los grados en Física europeos, incluyendo explícitamente las “*lectures embedding practical demonstrations*” (clases que incluyan demostraciones prácticas de manera integrada) como una forma adecuada de desarrollar el proceso enseñanza-aprendizaje [3]. Como veremos a continuación, el uso de las demostraciones de física es relativamente frecuente en muchos países, tanto en la Enseñanza Media como en la universitaria. Sin embargo, no es así en España, donde el contacto de los estudiantes con los fenómenos reales es muy reducido durante toda su formación.

A continuación discutiremos brevemente el origen de las demostraciones de Física y su uso docente en el pasado. Creemos que el conocimiento de los problemas que encontraron nuestros predecesores, y que en el caso español concluyó con un abandono de las demostraciones, debe ser un punto de partida para quienes pretendemos incorporarlas a nuestra docencia actual.

2. Las demostraciones de Física en el pasado: una enseñanza ineludible de la historia

Las colecciones de demostraciones de Física aparecieron en la revolución científica del s. XVII, sobre todo en academias y sociedades científicas, en las que la observación y discusión de los fenómenos naturales era un elemento esencial de un renovado interés general por la ciencia. Desde estos ámbitos, los experimentos científicos –generalmente de Física– se extendieron a las universidades y a las salas de conferencias. En Inglaterra surgieron las denominadas *demonstration lectures*, clases de Física ilustradas profusamente con experimentos, que rápidamente se difundieron por la Europa continental: se multiplicaron los gabinetes con colecciones de experimentos, fuera y dentro de las universidades, se crearon las primeras cátedras de Física experimental [4] y se publicaron también muchos libros sobre demostraciones experimentales.

Por ejemplo, se sabe que en la Universidad de Leyden, al comienzo del s. XVIII, Willem ‘s Gravesande, newtoniano convencido, era famoso por las demostraciones experimentales que utilizaba antes de comenzar la discusión sobre cualquier tema en sus clases. El propósito de ‘s Gravesande era el de ir construyendo razonamientos que fueran coherentes con la evidencia experimental (*hypotheses non fingo*, había dicho Newton), siguiendo un orden que aumentaba progresivamente la complejidad conceptual e instrumental. Sin embargo, resulta interesante comprobar que otro profesor de esa época, Abraham G. Kästner, se quejaba –en referencia a las demostraciones– de que los estudiantes “están interesados en mirar la Física, no en aprenderla” [4,5].

Los salones elegantes y los cafés fueron también escenarios habituales en los que hábiles conferenciantes entretenían a un público ávido de curiosidades científicas. Jean-Antoine Nollet, en Francia, fue especialmente famoso por sus demostraciones científicas, que construía personalmente, y su libro “*Lessons de Physique experimentale*” [6] gozó de una gran difusión en Europa.

Pero las conferencias científicas con experimentos o *demonstration lectures* pasaron de los salones aristocráticos a otros más burgueses e incluso populares, incluyendo aposentos privados, de los que son ejemplos cuadros como el famoso “*An experiment on a bird in the air pump*” de Joseph Wright of Derby (Figura 1), y se intensificaron durante el s. XIX. El caso del físico Michael Faraday es especialmente significativo: autodidacta y de proveniencia modesta, adquirió una formación científica no formal gracias a las clases de conferenciantes ambulantes que ilustraban sus clases con demostraciones experimentales. Cuando Faraday se convirtió en director del laboratorio de la *Royal Institution* en 1825, inauguró las llamadas *Christmas lectures* (conferencias de Navidad), dirigidas al gran público y en particular a los jóvenes. Estas clases públicas, en las que participó el propio Faraday con títulos como “Historia de una candela” estaban- y están hoy día- caracterizadas por un uso sistemático de demostraciones, como testimonia el grabado de la figura 2. Las *Christmas lectures* no han dejado de existir desde entonces (con la excepción de algunos períodos bélicos) y son emitidas por la BBC desde 1966 hasta la actualidad [7].



Figura 1. Cuadro de Joseph Wright of Derby, “An Experiment on a Bird in the Air Pump”, 1768. London, National Gallery.



Figura 2. Una de las *Christmas lectures* de Michel Faraday de 1855 en la Royal Institution de Londres, sobre “propiedades distintivas de los metales comunes”.

En la segunda mitad del s. XIX se introdujeron progresivamente en los currículos de Física las sesiones de laboratorio [8]. Pero esto no supuso la desaparición de las demostraciones en el contexto de las clases magistrales, más dirigidas a la comprensión conceptual básica que a la determinación cuantitativa o aprendizaje experimental propio de la práctica en laboratorio. Por ejemplo, Ernst Mach, renombrado físico cuyas ideas influenciaron enormemente, entre otros, al joven Einstein, desarrolló numerosas demostraciones experimentales construidas con ayuda de un técnico, y que utilizaba personalmente en sus clases de la Universidad Alemana de Praga a finales del s. XIX, y a las que acudían alrededor de un centenar de estudiantes [9].

En resumen, numerosos libros de texto de Física que circularon por toda Europa, como el de Ganot, Jamin o el de Müller-Pouillet y la abundancia de gabinetes de instrumentos científicos confirman que la educación formal en Física se basaba en buena medida en clases magistrales en las que las demostraciones experimentales en un elemento esencial. El propio Albert Einstein, estudiante de Física en los años 1898-1901, recuerda probablemente su experiencia cuando dice que “*en Física, las primeras lecciones deberían contener sólo aquello que es experimental e interesante de ver. Un bonito experimento es a menudo, por sí mismo, más valioso que veinte fórmulas extraídas de nuestras mentes*”. Sin embargo, una crítica que recibían a menudo las clases magistrales centradas en las demostraciones es que se convertían en puro espectáculo, e incidían sobre todo en los aspectos anecdóticos, en la mera descripción de los instrumentos utilizados, -a veces demasiado complejos como para que permitieran entender lo esencial-, o en los fenómenos que estos mostraban, tomados aisladamente y sin relacionar unos con otros o dar una visión conceptual unificadora.

Merece la pena mencionar que el profesor Robert W. Pohl, de la Universidad de Göttingen, desarrolló en los años 20 del s. XX un método de enseñanza basado en un libro de texto universitario de Física, combinado con demostraciones que él mismo diseñó simplificando

notablemente los dispositivos. El método de Pohl (a quien sus detractores llamaban “circo Pohl”) supuso una renovación e impulso del uso de las demostraciones, ya que se adoptó en muchas universidades alemanas, centroeuropeas y americanas. Utilizadas por generaciones sucesivas de profesores universitarios, muchas de sus demostraciones han llegado hasta el presente sin apenas cambios [10].

En España existió un número relevante de gabinetes de Física con colecciones de demostraciones, ubicados en institutos de educación secundaria o universidades y que han sido objeto de catalogación y estudio en los últimos años. La Universitat de Valencia, por ejemplo, creó una colección de demostraciones de Física a finales del s. XVIII que fue incrementada notablemente a mitad del s. XIX, cuando el gabinete llegó a contener 152 dispositivos. Es interesante el hecho de que se enviara una carta a las cátedras de Física y química instando a la adquisición de instrumental para mejorar la docencia de estas disciplinas ya que estas “no solo requieren explicaciones verbales, sino también el examen de los objetos, y los experimentos y manipulaciones indispensables para la cabal inteligencia de las materias” [11]. En aquel momento, al igual que ahora, la Física era una asignatura propedéutica en todas las titulaciones de ciencias –aunque no existía la titulación de Física-. Después de un periodo de treinta años en el que el uso de las demostraciones y experimentos fue abandonado, desde principios del siglo veinte y hasta 1936 resurgió un interés por la docencia experimental, y se introdujeron las sesiones de laboratorio para que los estudiantes manipularan ellos mismos la instrumentación. En coincidencia con este proceso, las clases con demostraciones fueron desapareciendo.

3. El uso universitario de las demostraciones y el caso español

En muchos países como, por ejemplo, Alemania y su entorno, Reino Unido o EE.UU., todavía hoy se practica una docencia de introducción a la Física basada en demostraciones y experimentos, o en la que éstas juegan un papel importante, también en la Enseñanza Media. Prueba de ello es la existencia de un gran número de colecciones de demostraciones que ahora se encuentran más accesibles a través de páginas Web y también de abundantes publicaciones sobre este tema.

Un vistazo rápido a través de cualquier buscador on-line (la palabra clave “physics demos” proporciona 250.000 resultados de búsqueda) permite comprobar que algunas universidades de EE.UU. cuentan con amplias colecciones de demostraciones de Física e infraestructuras y personal específicamente dedicados a mejora y supervisión. Universidades como Harvard, Yale, Caltech o MIT, por ejemplo, cuentan con colecciones de demostraciones muy nutridas que abarcan todos los temas de un curso de Física General [12]. Además, la asociación de recursos docentes para la Física PIRA (Physics Instructional Resource Association) contribuye de forma decisiva a través de un catálogo de miles de demostraciones de Física con sus referencias bibliográficas, de consulta obligada para cualquiera que desee usar, montar y organizar una colección de demostraciones [13].

En estas universidades, muchas clases de Física de primeros cursos tienen lugar en enormes aulas-anfiteatro próximas a los lugares donde se almacenan las colecciones de demostraciones. Personal técnico o incluso profesores contratados total o parcialmente para tal fin (los denominados *demonstrators*), se ocupan del mantenimiento y organización de las demostraciones, y las preparan en el aula a petición de los profesores que deben impartir una clase. Por ejemplo, en la figura 3, ni el prof. Feynman ni el prof. Lewin han dedicado tiempo a encontrar la demostración del péndulo, llevar el material al aula e instalarlo (incluso preparando un gancho en el techo para colgarlo), ni han realizado las pruebas necesarias para asegurarse de su correcto funcionamiento. Todo ese trabajo ha sido realizado por el personal responsable de las demostraciones. Desde hace unos años, este personal técnico se encarga también de grabar vídeos de las demostraciones que se encuentran accesibles desde las páginas Web y de actualizar la información de dichas paginas [12,16].

Es importante tener en cuenta que la forma en que se utilizan actualmente las demostraciones ha ido adaptándose progresivamente a nuevas formas de enfocar la docencia de la Física, en línea con los cambios que tuvieron lugar sobre todo a partir de los años 50. Los currículos y libros de Física general ya no son compendios de fenómenos y de instrumentación - como

hemos visto que era habitual en los siglos XVIII y XIX (ver, por ejemplo, el libro de Ganot [14, 21])- que se estudiaban separadamente en su más mínimo detalle. Actualmente, los contenidos de la Física introductiva se abordan con mayor generalidad, incidiendo en los conceptos básicos comunes subyacentes a fenómenos diferentes entre sí en apariencia. Esto se debe, en parte, a la unificación de las diferentes áreas experimentales de la Física (mecánica, electromagnetismo, etc.) operada por una mayor matematización, y a su integración en un cuerpo de enseñanza que privilegia la comprensión de los principios fundamentales. Las demostraciones de Física no se utilizan como una forma de estudiar fenómenos concretos por sí mismos, sino como casos o situaciones reales que ilustran modelos teóricos más generales. Por ejemplo, en la figura 3 aparece una demostración sobre el péndulo que en su explicación no se circunscribe exclusivamente a la mecánica del péndulo como dispositivo específico, diferente de otros. Por el contrario, -y por ello la demostración es extremadamente potente- nos permite comprender y abordar con la mayor generalidad posible el movimiento oscilante y armónico en general, comprender sus magnitudes relevantes (amplitud, periodo, frecuencia, etc.), incluyendo la importante cuestión de la conservación de la energía mecánica.



Figure 3. Clases de Física introductoria en las que se están utilizando demostraciones experimentales, en este caso ilustrando la conservación de la energía mecánica en el movimiento del péndulo: Richard Feynman, profesor de Caltech y premio Nobel (izquierda) [15] y el profesor del MIT Walter Lewin (derecha) [16].

Centrémonos ahora en la situación española, que contrasta con la de otros países en lo que se refiere al uso de las demostraciones. Actualmente, en la enseñanza media -ESO y bachillerato- es muy infrecuente que se empleen demostraciones para observar fenómenos durante las clases de Física, o incluso que se realicen prácticas de laboratorio -suponiendo que los estudiantes cursen contenidos de Física en algún momento de su educación-. Esta situación se reproduce en la Universidad, donde la Física es una asignatura obligatoria en primeros cursos de todos los grados de ciencias (incluyendo las ciencias de la salud) y grados técnicos: las sesiones experimentales de laboratorio son extremadamente reducidas y las clases magistrales no prevén el uso de las demostraciones experimentales. De forma que, a través de la Física, los estudiantes abordan conceptos, principios y modelo sobre fenómenos reales que nunca han visto y de los que no tienen experiencia. Es decir, que no forman parte de su bagaje de "realidad". En el grado en Física, las sesiones de laboratorio tienen mucha más importancia que en otras titulaciones. En ellas los estudiantes manipulan personalmente los dispositivos de cada experimento (lo que en inglés se llama *hands-on*), realizan las medidas y el análisis de los datos y aprenden la forma de comunicar los resultados mediante informes o presentaciones orales [17]. Pero los objetivos del laboratorio inciden más en la familiarización con el método experimental que en la comprensión conceptual.

En definitiva, en nuestro país las clases con demostraciones no son una tradición. Es posible que cayeran completamente en desuso con la introducción, más tardía, de los laboratorios experimentales concebidos incluso como asignaturas independientes de las teóricas. Aunque también parece legítimo pensar que nunca llegaran a constituirse en una práctica docente realmente arraigada, pese a la existencia de numerosos gabinetes instrumentales en el pasado. Es posible que tuviera un peso decisivo la escasa inclinación experimental de los docentes,

relacionada con una tradicional falta de personal técnico de apoyo (también muy escaso en tareas de investigación). Desarrollar y mantener en condiciones una colección de demostraciones de uso colectivo es una tarea que requiere mucho tiempo, como reconoce el prof. Robert Ehrlich en su libro sobre demostraciones de Física [18]:

“As a university physics teacher I have noticed that most of my colleagues love to watch a good demonstration, but rarely do demonstrations in their own classes. The problem seems to be that, except for those fortunate enough to teach at a university with a staffed demonstration facility, setting up demonstrations for classes is too much effort. There is an enormous amount of work involved in designing, constructing, physically locating, and setting up a demonstration that works reliably.”

“Como profesor de Física me he dado cuenta de que a la mayoría de mis colegas les encanta ver una buena demostración, pero raramente usan ellos mismos demostraciones en sus clases. El problema parece consistir en que, a excepción de aquellos afortunados cuyas universidades cuentan con una instalación de demostraciones con personal dedicado, para el resto, montar demostraciones es un esfuerzo excesivo. Se invierte una cantidad enorme de trabajo en diseñar, construir, ubicar físicamente, y montar una demostración que funcione de verdad”.

4. La creación de una Colección de Demostraciones en la Facultad de Física de la UVEG

Como hemos visto, las demostraciones experimentales de Física están presentes en la práctica docente de muchos países –aunque no en España-, y el proyecto europeo "Tuning" de Física recoge explícitamente la importancia del uso de estas demostraciones en la docencia de los primeros cursos. Las conclusiones del proyecto "Tuning", dirigido al establecimiento de las bases de la armonización de los estudios universitarios de Física en Europa, y en el que España participó, se adoptaron como base para la elaboración del libro Blanco de Física sobre el que se han estructurado los planes de estudio de Grado en Física recientemente implantados en nuestro país. De manera que, recuperar el uso de las demostraciones no es algo que se pueda considerar meramente conveniente, sino que se recomienda explícitamente.

Por este motivo, y en coincidencia con la participación de la Licenciatura de Física en un proyecto de innovación educativa (PIE) previo al proceso de Convergencia Europea y la implantación de los nuevos grados, se decidió iniciar una colección de demostraciones que pudiera ser utilizada por los profesores en sus clases. Desde hacía varios años, algunos profesores de la Facultad de Física de la Universitat de València habían comenzado a introducir demostraciones experimentales de forma ocasional en su docencia en diferentes titulaciones, por lo que existía ya un reducido núcleo de interesados.

El problema consistía en poner en marcha una iniciativa que en otros países con mayor tradición se apoya, no ya en presupuesto para material e instalaciones (aulas-anfiteatro-almacén de demostraciones), sino, sobre todo, en personal dedicado específicamente a esta tarea, ya que el tiempo que requiere poner en marcha y mantener las demostraciones es significativo. No contando con dicho apoyo, la única forma viable de iniciar y dar estabilidad a esta iniciativa era mediante la creación de un grupo de trabajo constituido por profesores. En cuanto al necesario apoyo económico, se podía contar con un pequeño presupuesto inicial de la Facultad de Física, proveniente de la participación en el PIE y, más adelante, con el proveniente de proyectos docentes específicos [19].

La ayuda inicial, asociada al PIE en el que participaba la Licenciatura de Física desde 2006 era reducida y de carácter fungible, por lo que en una primera etapa se desarrollaron las demostraciones más sencillas, como son la caída y lanzamiento simultáneo de dos bolas, colisiones de dos móviles (carritos), las experiencias de Oersted, el fenómeno de inducción electromagnética, generación de ondas con un muelle gigante, etc. El grupo de trabajo no se había constituido aún y la responsable del PIE e impulsora de la colección, reunió a los usuarios potenciales, realizó las adquisiciones iniciales, el montaje y su disposición en cajas o bolsas para su transporte, creó una página Web que aloja el catálogo completo con fichas descriptivas de cada experiencia y organizó una sesión formativa para el grupo de profesores interesados en su uso. Con la solicitud y concesión de un proyecto docente específico para este fin en 2008, se constituyó por primera vez un grupo de trabajo formado por profesores de diferentes

departamentos de la Facultad que se propuso la ampliación, puesta a punto y uso de la colección. A finales de 2009 la colección contaba con más de 50 demostraciones de diferentes partes de la Física, y a finales de 2012 se tendrá cerca de 100 demostraciones.

La colección de demostraciones pretende cubrir todas las partes de un curso de Física general: mecánica, oscilaciones y ondas, fluidos, termodinámica, electromagnetismo, óptica, física cuántica y estructura de la materia. En las sucesivas ampliaciones de la colección, se ha intentado cubrir aquellos temas de Física que estaban peor representados. En algunos casos las demostraciones consisten en la observación de un determinado fenómeno por medios o dispositivos muy sencillos, adquiridos, como hemos comentado, con material fungible. En otros casos hay involucrada instrumentación de mayor sofisticación y envergadura, como fuentes de alimentación, osciladores, láseres, etc. Aunque los dispositivos más sencillos solo permiten una discusión cualitativa de los fenómenos, es una preocupación constante que exista la posibilidad de abordarlos de forma cuantitativa o semi-cuantitativa. Desde el principio seguimos ideas similares a las que desarrolla Robert Erlich en su libro [18] –que entonces no conocíamos-. Es decir, solucionamos de forma análoga un problema similar: cómo introducir demostraciones en una universidad sin infraestructura para las demostraciones.

En el contexto de este proyecto también se han incorporado a la colección dos demostraciones más sofisticadas a partir de material que existía en los laboratorios docentes y que estaba parcialmente roto y sin utilizar. La adquisición de nuevas piezas, reciclando las que sí funcionaban ha permitido incorporar, con un gasto muy moderado, demostraciones muy ilustrativas e importantes en el desarrollo de la Física y la tecnología del último siglo, como es la desviación de un haz de electrones mediante un campo magnético o la difracción de electrones. Cada una de estas demostraciones ha sido instalada de forma permanente sobre un carrito que permite su transporte a las aulas, y se ha incorporado en cada una de ellas una *Webcam* de alta resolución que permite proyectar mediante un cañón de luz lo que se observa en tiempo real, facilitando su visualización a todos los estudiantes que se encuentran en el aula.

Esta colección de demostraciones para uso general del profesorado en sus clases es, por lo que sabemos, la única que existe en nuestro país.



Figura 4. Demostración sobre la aceleración de caída de cuerpos que giran y su dependencia con el momento de inercia.



Figura 5. Dispositivo montado sobre un carro para la visualización de la trayectoria de los electrones en el seno de un campo magnético (con Webcam incorporada).

5. El uso de las demostraciones durante las clases

La colección de demostraciones iniciada en la Facultad de Física de Valencia [1] está constituida por dispositivos experimentales sencillos y fácilmente transportables a las aulas, y se encuentra ubicada en un lugar muy accesible y, a la vez, controlado, como es el despacho del personal técnico asociado al laboratorio de Física general. Este laboratorio da servicio a todas las titulaciones de ciencias e ingeniería y es el único que cuenta con personal dedicado.

La existencia de un almacén con una colección de demostraciones es una condición necesaria pero no suficiente para que las demostraciones experimentales se utilicen y se conviertan en un

elemento esencial de las clases. También es imprescindible que exista una información clara y concisa sobre cómo montar y utilizar cada demostración, de forma que el desconocimiento que se tiene a priori de la demostración o el tiempo que puede requerir familiarizarse con ella no sean un obstáculo a la hora de incorporarla a la docencia. Por este motivo, se han elaborado fichas o guiones descriptivos que proporcionan las indicaciones necesarias para el montaje del dispositivo en cuestión, el tiempo requerido o consejos sobre detalles relevantes, los objetivos de la demostración, las palabras clave, y la explicación física del fenómeno que se pretende mostrar. También se aportan comentarios sobre las observaciones más significativas (todo aquello en lo que los estudiantes se deben fijar), indicaciones sobre cómo introducir y relacionar los fenómenos físicos de la demostración con los aspectos teóricos, o incluso preguntas que se puede formular. El catálogo *on-line* de la colección está constituido por un listado con los títulos de las demostraciones. Al seleccionar cada título, hay un enlace que abre el fichero de cada guión en formato *pdf*.

El uso de las demostraciones funciona mediante un sistema de préstamo inmediato: el profesorado que desee utilizar una demostración puede consultar el catálogo que se encuentra en la página Web del proyecto, informarse sobre la demostración en cuestión, recogerla antes de acudir a la clase de teoría o problemas que debe impartir (incluso reservándola con antelación), y emplearla. Finalizada la clase, la demostración es devuelta al almacén, quedando disponible para otro docente.

En este momento se están desarrollando vídeos de las demostraciones que se podrán enlazar en la página Web junto a los guiones, y que permiten visualizar el fenómeno físico en cuestión. Estos vídeos no pretenden en ningún caso sustituir el uso de la demostración *in situ*, ya que ver y observar el fenómeno real y discutirlo al mismo tiempo que se observa, constituye una experiencia difícilmente sustituible. Pero el vídeo permitirá una visualización del fenómeno por parte de los estudiantes después de haber sido discutido en clase, al tiempo que se recuerdan e interiorizan los conceptos y principios explicados. El vídeo también facilita el uso de la demostración al profesorado.

6. Alcance y resultados del proyecto de demostraciones experimentales de Física.

El uso de las demostraciones es especialmente útil para la docencia de la Física de los primeros cursos, cuando se estudian los modelos y teorías fundamentales que explican de forma coherente los fenómenos experimentales. Hemos dicho que un porcentaje elevado de estudiantes que cursan grados en ciencias e ingeniería no ha cursado la Física de bachillerato, y la mayoría de quienes sí lo han hecho, nunca han realizado prácticas de laboratorio o visto demostraciones, por lo que desconocen completamente incluso los fenómenos físicos más significativos.

Por este motivo, la colección de demostraciones está siendo utilizada, no sólo en el Grado en Física, sino en todas las titulaciones que incluyen asignaturas de Física, es decir, todos los grados de Ciencias, Ciencias de la Salud e Ingenierías del campus de Burjassot de la Universitat de València, (incluso en algunos master), como Física, Química, Óptica y Optometría, Biología, Biotecnología, Bioquímica, Ciencias Ambientales, Ingeniería Informática, Ing. Multimedia, Ing. Electrónica, Ing. Química, Ing. Industrial, Farmacia, Nutrición Humana y Dietética o Tecnología de Alimentos. Es decir, las demostraciones se usan en 25 asignaturas diferentes de Física de 15 titulaciones diferentes, involucrando a más de 2000 estudiantes y aproximadamente 30 profesores que realizan unos 180 préstamos de demostraciones anualmente.

Adicionalmente, las demostraciones de esta colección son utilizadas por profesores de la Facultad de Física en el master de formación del profesorado, en cursos de Física para profesores de bachillerato en activo, en las sesiones del campus científico de verano VLC-campus, en las clases de Física de la Nau Gran, y en la semana cultural que organizan las Asociaciones de Representantes (AdR) del campus de Burjassot.

De alguna manera, el éxito de las demostraciones se manifiesta a través del éxito académico del estudiantado verificado mediante la evaluación. En todas las asignaturas de Física en las que se utilizan las demostraciones existe una evaluación explícita o implícita de las mismas. En muchas de ellas se entregan trabajos o ejercicios relacionados con alguna demostración que se ha visto

y comentado en clase, con una contribución a la nota final. Y en todos los exámenes se realizan preguntas que hacen referencia directa o indirectamente a algunos conceptos clave que se han abordado en clase mediante demostraciones. Uno de los objetivos del proyecto de demostraciones para los próximos años es el de realizar alguna encuesta a los estudiantes que incluyan preguntas tanto objetivas, de comprensión de conceptos relacionados con las demostraciones, como subjetivas, de satisfacción respecto a la experiencia en clase con las demostraciones.

Pero, ¿Qué beneficios inmediatos que se obtienen mediante el uso de las demostraciones en conjunción con las clases teóricas en el aula? Por un lado fomentan la capacidad de sorpresa y observación de unos fenómenos naturales nunca contemplados con anterioridad por los estudiantes, ayudando, al mismo tiempo, a mirar “con los ojos de la mente” - en palabras de Galileo-: es decir, permiten articular un proceso de observación racional en el que se emiten conclusiones en términos de un modelo físico. Esto redundará en una mejor comprensión de los conceptos y en la percepción de que las teorías científicas no son entelequias abstractas ajenas al mundo, sino modelos de explicación de la realidad natural con relaciones muy importantes con la tecnología que también pueden y deben de ponerse de relieve. Esta función de las demostraciones es especialmente importante, no sólo en la docencia del Grado en Física, sino en la de otras titulaciones en las que, como hemos visto, el porcentaje de estudiantes que ha cursado contenidos de física en la Enseñanza Media es bajo y en el que las sesiones de laboratorio son muy reducidas o incluso inexistentes.

Hay un aspecto que es necesario tener en cuenta al utilizar las demostraciones como herramienta/método de las clases [2]: las demostraciones permiten poner de manifiesto algunos fenómenos, pero hay que evitar dar la impresión de que se construye una teoría física determinada a partir de una o varias demostraciones, ya que estas por lo general no permiten medidas cuantitativas, ni se proponen como un conjunto que dé cuenta de forma exhaustiva de todos los fenómenos. Por ejemplo, podemos observar la atracción o repulsión de dos cintas adhesivas cargadas eléctricamente, discutir el fenómeno e incluso llegar a algunas conclusiones razonables basadas en la observación cualitativa. Pero habría que evitar completamente realizar afirmaciones sobre la existencia de dos tipos de carga o incluso sobre aspectos de una descripción de tipo microscópico (diciendo, por ejemplo, que la carga negativa se debe a los electrones) como si provinieran de la evidencia de la demostración, ya que esto no es cierto [20]. Hicieron falta muchos años, en términos históricos, muchos experimentos, y muchos fracasos científicos para determinar qué modelo describía mejor los fenómenos, si el modelo de carga única o el de dos tipos de carga. Por no hablar del modelo del átomo y su estructura, que incluye los electrones. Todo esto se puede explicar, por supuesto, pero evitando fomentar la creencia de que se llega a esas conclusiones gracias a observaciones cualitativas de unas pocas demostraciones. Esto constituiría un fraude intelectual, confundiría las ideas y sólo conseguiría reforzar elementos irracionales del pensamiento de nuestro estudiantado, en lugar de contrarrestarlos.

En cualquier caso, estamos convencidos, y en esto coincidimos con nuestros predecesores, de que la observación de los fenómenos físicos en vivo y en directo, unida a explicaciones detalladas y a una auténtica discusión mayéutica en el contexto de la física, como la entendía Arnold B. Arons [2], constituye una práctica y recurso docente que no se puede sustituir por simulaciones o animaciones, o incluso por la necesaria práctica de laboratorio. Estos recursos son también muy útiles, pero están dirigidos a objetivos diferentes.

En definitiva, las demostraciones experimentales de Física son una herramienta que permite mejorar la comprensión y el aprendizaje del estudiantado que cursa asignaturas de Física, en particular cuando su experiencia de los fenómenos es prácticamente inexistente. El peligro al que nos exponemos al utilizarlas es el mismo que nuestro colega profesor del siglo XVIII detectó y sobre el que algunas publicaciones más recientes han llamado la atención: que las demostraciones puedan convertirse en simples entretenimientos, y que los estudiantes sólo deseen “mirar la Física, no la aprenderla”, en parte porque se conciba como mero espectáculo. Es decir, nos preocupa que las demostraciones sirvan verdaderamente para desarrollar una

actitud racional e inquisitiva sobre el mundo natural, y que ayuden a iluminar conceptos y principios físicos abstractos que pueden ser vistos erróneamente como ajenos a la realidad, en un proceso que mejore la adquisición rudimentaria de eso que llamamos método científico.

5. Conclusiones

Las demostraciones experimentales de Física son una herramienta docente importante reconocida en el proyecto *Tuning* europeo de Física, y que goza de una enorme tradición en muchos países. En la Facultad de Física de la UVEG existe desde 2007 una colección de demostraciones para su uso en las clases de Física de un gran número de grados y que cuenta actualmente con unas 100 demostraciones. Esta colección, disponible para todos los docentes de la Facultad, es la primera que se crea en España. A falta del presupuesto y del personal específico que en otros casos se dedica a una infraestructura de este tipo en otros países, esta iniciativa ha sido posible como resultado de un trabajo cooperativo para el beneficio docente común, y ha supuesto un intercambio muy provechoso de experiencias docentes de Física entre profesores de diferentes áreas de conocimiento y departamentos.

Agradecimientos : Este trabajo se ha desarrollado gracias al proyecto educativa y calidad docente **UV-SFPIE_DOCE12-80865** de la Universitat de València 2012/2013.

Referencias

- [1] La página Web del proyecto de demostraciones: <http://fisicademos.blogs.uv.es>
- [2] Arons, Arnold B., (1997), Teaching Introductory Physics. John Wiley & Sons, (1997).
- [3] Tuning Physics Project, summary of outcomes;
<http://www.unideusto.org/tuningeu/subject-areas/physics/summary-of-outcomes.html>
- [4] Robin E. Rider (1990), El experimento como espectáculo, en "La Ciencia y su Público", Javier Ordóñez y Albero Elena coord. CSIC 1990.
- [5] J. L Heilbron (1982), Elements of Early Modern Physics, University of Early California Press.
- [6] Nollet, J.A., (1771), "Leçons de physique expérimentale" Du fonds de H.L Guerin & L.F. Delatour. Chez Durand, neveu libraire, rue S. Jacques à la Sagesse. Se encuentra on-line en: <http://www.archive.org/details/leonsdephysique03jeagooq>
- [7] Esta Web contiene un resumen de la historia de las Christmas Lectures en la Royal Institution: <http://www.rigb.org/contentControl?action=displayContent&id=00000003534>
- [8] Phillips, Melba (1981), Early history of physics laboratories for students at the college level, Am. J. Phys. 49, 522 (1981).
- [9] Blüh, Otto (1967). Ernst Mach as teacher and thinker, Physics Today 20, 32 (1967).
- [10] Roland Wittje (2011) "Simplex Sigillum Veri": Robert Pohl and demonstrations experiments in Physics after the Great War. En "Learning by doing. Experiments and Instruments in the history of Science Teaching", peter Heering and Roland Wittje eds., Franz Steiner Verlag.
- [11] Bertomeu J. R., García Belmar, A., eds., Obrint les caixes negres. Col·lecció d'instruments científics de la Universitat de València. Publicacions de la Universitat de València.
- [12] Se han seleccionados estos ejemplos de universidades en primeros puestos de los rankings mundiales, aunque el elenco sería mucho más largo.
Harvard University: <http://sciencedemonstrations.fas.harvard.edu/icb/icb.do>
University of Yale: <http://ris-systech2.its.yale.edu/physics/demos/demomain.asp>
University of Berkeley: <http://www.mip.berkeley.edu/physics/physics.html>
MIT: <http://techtv.mit.edu/collections/physicsdemos> .
- [13] PIRA Website: <http://physicslearning.colorado.edu/PiraHome>
- [14] A. Ganot (1914) Tratado elemental de Física experimental y razonada, Bailly-Baillière, 1914.
- [15] Feynman, Richard P. (2006) "Seis piezas fáciles. La Física explicada por un genio" ed. Critica.
- [16] Todas las clases del prof. Lewin, organizadas en torno a demostraciones experimentales, se encuentran en video *streaming* en este enlace: <http://ocw.mit.edu/courses/physics>
- [17] Chantal Ferrer Roca (2007), La evaluación en los laboratorios de Física: una tradición renovada, trasladable a otras materias. en "La evaluación de los estudiantes en la educación superior. Apuntes de buenas prácticas. SFP, Universitat de Valencia.

- [18] Ehrlich, Robert (1990), *Turning the world inside out and 174 other simple physics demonstrations*. Princeton University Press.
- [19] *Proyectos Finestra Oberta*, cursos 2008-09, 2009-10 and 2010-11, y proyectos DOCENTIC de 2011-12 y 2012-13.
- [20] Ferrer-Roca, Chantal y Cros, Ana (2004), "La Física en el bolsillo: experimentos sencillos de electricidad", *Alambique*, 39, p. 79-85 (2004)
- [21] Josep Simon, (2011), *Communicating Physics: The Production, Circulation and Appropriation of Ganot's Textbooks in France and England, 1851–1887*. Pickering and Chatto Pub. Londres.