

corresponde a la frecuencia de emisión. La curva continua es la de la frecuencia observada en A. Obsérvese que la frecuencia que el observador detecta en este punto varía con un período igual a la mitad del que tiene el péndulo. Esto es debido a que A está en la bisectriz de OL y OR: por cada oscilación del plano la parte que está a la derecha de A se acerca y aleja una vez, al igual lo hace, de forma simétrica, la parte a su izquierda. La frecuencia observada está en el intervalo (438.92,441.08) Hz. La curva discontinua corresponde al punto B, cuya posición es asimétrica respecto al plano del altavoz, lo que se refleja en el hecho de que el período ya no es la mitad de T, sino que coincide con él. En B la amplitud de oscilación de la frecuencia percibida es mayor que en A: (437.65,442.37) Hz.

## Apéndice

La distancia entre el foco efectivo y el punto de observación (Figura 2) es  $v(t - t_e)$ , por lo tanto

$$|\vec{x}_0 - \vec{x}_{\text{ef}}(t_e)|^2 = v^2(t - t_e)^2. \quad (\text{A1})$$

La superficie  $\Sigma$  va emitiendo frentes de onda con una frecuencia  $v_f = 1/T$ , siendo T el período; por consiguiente los tiempos de emisión vienen dados por  $t_e = nT$  ( $n = 1, 2, \dots$ ). La frecuencia,  $v(\vec{x}_0, t)$ , detectada en el instante  $t$  por el observador situado en O es el número de frentes que lo atraviesan por unidad de tiempo:  $v(\vec{x}_0, t) = \partial n / \partial t$ . El número de frente,  $n$ , viene dado en forma implícita por la ecuación que resulta de efectuar la sustitución  $t_e = nT$  en (A1):

$$|\vec{x}_0 - \vec{x}_{\text{ef}}(nT)|^2 = v^2(t - nT)^2. \quad (\text{A2})$$

Al derivar (A2) respecto a  $t$  se obtiene

$$-2(\vec{x}_0 - \vec{x}_{\text{ef}}(nT)) \cdot \frac{d\vec{x}_{\text{ef}}}{dt_e} vT = 2v^2(t - nT)(1 - vt). \quad (\text{A3})$$

A continuación sustituimos la relación  $\vec{x}_0 - \vec{x}_{\text{ef}}(nT) = v(t - nT)\vec{n}_{\text{ef}}$  en (A3) y se despeja  $v$ : el resultado es la ecuación (3).

## Referencias

- [1] S. BURBANO, E. BURBANO y C. GRACIA, *Física General* (Tébar, 2003, 32.<sup>a</sup> ed.).
- [2] L. D. LANDAU y E. M. LIFSHITZ, *Teoría Clásica de los Campos* (Reverté, 1973, 2.<sup>a</sup> ed.).
- [3] E. DÍAZ-MIGUEL, "Efecto Doppler en medios no homogéneos", *Revista Española de Física* **11** (4), 1997.
- [4] A. MOLINA, *Mecánica teórica: Mecánica Analítica y Mecánica de los Medios Continuos* (Universidad de Granada, 2014, 2.<sup>a</sup> ed.).
- [5] J. CEPA, *Cosmología Física* (Akal, 2007).
- [6] M. BORN y E. WOLF, *Principles of Optics* (Pergamon Press, 1993).
- [7] A. GRAY, E. ABBENA y S. SIMON, *Modern Differential Geometry of Curves and Surfaces with Mathematica* (Chapman & Hall/CRC, 2006).
- [8] E. DÍAZ-MIGUEL, "La envolvente de Mach en medios no homogéneos", *Revista Española de Física* **10** (3), 1996.

# La enseñanza de la Física: Una apasionante aventura a través del patrimonio de los institutos históricos

M.ª Matilde Ariza Montes

Profesora de Física y Química

IES Pedro Espinosa, Antequera, Málaga



**L**a creación de los institutos de Segunda Enseñanza en España durante el siglo XIX fue esencial para la educación y, en particular, para la enseñanza de la Física, creando un nuevo modelo de aprendizaje experimental a través de los instrumentos científicos, diseñados en esta época de desarrollo científico y tecnológico.

Esta investigación está focalizada a la enseñanza de la Física en el siglo XIX, para tomar conciencia del rigor con el que se estudiaba esta disciplina hace una centuria y qué instrumentos científicos se utilizaban, para así explicar las diferentes leyes de la Física.

De la misma forma, se puede apreciar cómo se está investigando en un centro educativo de Enseñanza Secundaria este legado científico-histórico, poniéndolo en valor a través de su recuperación, restauración, conservación, exhibición y divulgación, lo que está concienciando al alumnado a valorarlo como pieza fundamental para el aprendizaje íntegro de la Física.

Se puede evaluar, igualmente, la inmensa contribución a la difusión de la Física que está generando el Museo Virtual del Patrimonio del IES Pedro Espinosa (MUVIPA), porque impulsa no solo la publicación de su legado científico-histórico, sino que también está patrocinando, de forma continua, actividades educativas para la transmisión del conocimiento de la Física.

## Introducción

En este artículo, se presenta la evolución que ha acompañado al patrimonio científico del IES Pedro Espinosa de Antequera (Málaga) desde su creación en el año 1928 hasta la actualidad, siendo su punto de inflexión la celebración de su 75 aniversario, fecha en que se empieza a recopilar este legado olvidado, en cierto modo abandonado y deteriorado por la falta de uso que trajeron los nuevos planes de estudios de 1970.

El objetivo principal es la puesta en valor de esta herencia centenaria que posee el centro, así como su restauración, conservación y difusión. Esto se lleva a cabo mediante las investigaciones que se están realizando y su utilización en la enseñanza de la Física a través de su patrimonio.

## Contexto histórico

En la década moderada del siglo XIX, período en que alcanzó la mayoría de edad Isabel II, se aprobó la Ley Pidal (1845), firmada por el ministro de Gobernación Pedro José Pidal el 17 de septiembre de 1845. Con posterioridad, se desarrollaron una serie de disposiciones, incluido el Reglamento para la

ejecución del Plan de Estudios, que irían completando la primera versión de la Ley Pidal. Se debe afirmar que Antonio Gil de Zárate fue el verdadero artífice de la implementación de la libertad de la enseñanza pública en España. En su obra *De la Instrucción Pública en España* (1852), se pueden apreciar muchas de las vicisitudes de la evolución de la enseñanza en la España de la primera mitad del siglo XIX.

Todo lo expuesto fue clave en la creación de los primeros institutos de Segunda Enseñanza, a partir de 1845, para albergar al alumnado que debía prepararse para la universidad, una vez que había terminado sus estudios de Enseñanza Primaria. Son los denominados **institutos históricos**, que ocuparon edificios significativos, procedentes, en algunos casos, de los afectados por la desamortización de Mendizábal. A lo largo de toda la geografía española, se creó un centro educativo por cada provincia como respuesta a la demanda del número de alumnado, a excepción de la capital de España, donde se crearon cuatro institutos por razones obvias. Hay que resaltar que todos los institutos no se crearon en el mismo año, sino que se fueron fundando paulatinamente hasta completar todas las provincias españolas.

El 17 de julio de 1857, Isabel II firmaba la Ley de bases, autorizando al Gobierno para formar y promulgar una Ley de Instrucción Pública, que daría lugar a la Ley Moyano, vigente durante más de una centuria. Por otra parte, la política educativa durante la dictadura de Primo de Rivera amplió en 1926 en una veintena el número de institutos de Segunda Enseñanza repartidos por toda la geografía española.

### Legado científico-histórico del IES Pedro Espinosa

El apogeo económico del siglo XIX en Antequera se vio reflejado en la creación del Instituto Municipal San Luis Gonzaga en 1871, donde sólo se podía impartir el Bachillerato Elemental. Disponía de gabinetes de Física y Química y de Historia Natural, así como materiales para la enseñanza de la Geografía y las Matemáticas. Más tarde, el Plan "Callejo" daría paso a la creación del Instituto de Antequera en 1928 que pasó a denominarse Instituto Nacional Pedro Espinosa en honor al poeta barroco antequerano.

Con motivo del 75 aniversario de la creación del IES Pedro Espinosa, se llevó a cabo la primera actuación de puesta en valor de su patrimonio científico, durante el curso 2002/2003 por Francisco Callejón Ródenas, profesor de Física y Química, que fue el encargado de la recuperación de muchos de los instrumentos científicos. El siguiente curso 2003/2004, se siguió por la que suscribe con la puesta en marcha de la exposición permanente de los instrumentos científicos.

En los siguientes años, fue aumentando la puesta en valor de otros instrumentos científicos y de distintos materiales pertenecientes al legado científico-histórico, relacionados con la Química, la Historia Natural y las Humanidades. Esto corresponde a las investigaciones que se están publicando, destacadamente, en las Jornadas Nacionales de Institutos Históricos. En ellas, se presentan los avances e investigaciones científicas que estos centros educativos, pertenecientes a toda la geografía española, están realizando y cuya finalidad es aunar esfuerzos para que este patrimonio esté en el lugar que le corresponde, desde sus edificios históricos hasta sus colecciones científicas, sin olvidar sus bibliotecas y las personas que allí formaron y se formaron.



**Fig. 1.** Exposición del patrimonio en la VI Jornada Científica del IES Pedro Espinosa.

Hasta la publicación de este artículo, el IES Pedro Espinosa ha contribuido con 16 comunicaciones en las 13 ediciones que ya se han realizado de las Jornadas Nacionales de Institutos Históricos, enfocadas a la utilización del patrimonio en la enseñanza de la Física y la Química, principalmente.

También, el departamento de Física y Química del IES Pedro Espinosa lideró la participación en los proyectos ARCE, donde trabajó con los institutos históricos IES Zorrilla, de Valladolid, IES El Greco, de Toledo, y el IES San Isidro, de Madrid, bajo los títulos "Aprender a través del patrimonio de los institutos históricos" (2009-2011) y "Enseñamos nuestra historia y difundimos nuestro patrimonio" (2011-2013). El denominador común del patrimonio se vio enriquecido por las visitas e intercambios con alumnado y profesorado en los cuatro centros implicados, creando una conciencia museística entre los más jóvenes y fomentando el amor por la conservación de los materiales de nuestros antepasados, que han hecho posible una enseñanza más experimental.

En la misma línea, también hay que destacar la participación en el Programa PIIASA (Programa de Iniciación a la Investigación e Innovación en Secundaria en Andalucía) durante los cursos 2014/2015 y 2015/2016, realizándose en este segundo curso la investigación "Estudio de los instrumentos científicos del siglo XIX en el Museo Virtual del Patrimonio del IES Pedro Espinosa como laboratorio histórico", donde se realizó la catalogación definitiva de los mismos.

La oportunidad de recuperar esos instrumentos y, a la vez, hacer que la mayoría de ellos volviera a tener utilidad, tal como la tuvieron en su época, fue uno de los objetivos que se planteó para evitar que ese material se perdiera, se deteriorara o se olvidara cada vez más.

### Una forma de divulgar el legado científico: la creación del MUVIPA

La creación del **Museo Virtual del Patrimonio del IES Pedro Espinosa (MUVIPA)** nace en marzo de 2015 como continuación del trabajo, que se venía realizando desde el curso 2003/04, de catalogación y recuperación del patrimonio del centro. Está disponible en el enlace <http://museovirtualiespedroespinosa.blogspot.com/>

Por una parte, no hay espacio para exponer el patrimonio del instituto en su edificio y, por otra parte, se debe crear

**Tabla 1.** Relación de algunos Instrumentos científicos centenarios del IES Pedro Espinosa por categorías

Categorías	Instrumentos científicos centenarios del IES Pedro Espinosa
<b>Acústica</b>	Aparato de Savart, bocina, martillo de agua, oscilador de Trevelyan, placas de Chladni, resonador de bocina, sonómetro
<b>Astronomía</b>	Aros de aplanamiento, esfera celeste, máquina centrífuga de Salleron, máquina centrífuga de Weinhold y accesorios, péndulo de Foucault
<b>Calor</b>	Alambique, anillo de 's Gravesande, aparato de Ingenhouz, hipsómetro de Régnauld, máquina de vapor de Watt, pirómetro de Van Musschenbroek
<b>Electromagnetismo</b>	Arco voltaico, botella de Leiden, campanario eléctrico, electróforo de Volta, esfera centelleante, pila de Volta, telégrafo de Breguet
<b>Hidrostática</b>	Bomba aspirante-impelente, hemisferios de Magdeburgo, manómetro de Bourdon, máquina neumática de Bianchi, piezómetro de Oersted
<b>Mecánica</b>	Articulación Cardan, doble cono de Nollet, grúa, péndulo de Galileo o de aguje, plano inclinado, rueda dentada, torno diferencial
<b>Meteorología</b>	Barógrafo registrador de Richard, barómetro aneroide o de Vidie, barómetro de Fortin, higrómetro de Daniell, psicrómetro de August
<b>Metrología</b>	Agrimensor, colección de las medidas de capacidad, balanza de precisión, balanza de Roberval, decímetro cúbico, areómetro de Baumé
<b>Óptica</b>	Aparato de Müller de la reflexión, cámara oscura, espejo cóncavo, lente cónica, microscopio Nachet, refractómetro de Abbe

este espacio virtual para que cualquier persona con interés en nuestro legado tenga acceso al mismo, dando a conocer las actividades que se realizan en torno a él.

El formato del MUVIPA tiene la originalidad de que está pensado especialmente para hacer hincapié en la participación activa del alumnado, ya que con este museo virtual se puede completar cualquier asignatura que se está cursando en el instituto.

Paralelamente, este mismo alumnado investiga para aportar al MUVIPA su estudio o exploración desde cualquier óptica de este patrimonio, clave en su avance científico-histórico, utilizando las TIC tan imprescindibles en la actualidad. En definitiva, se han puesto en marcha los denominados "Científicos I+D+i del IES Pedro Espinosa", que están no sólo investigando, sino desarrollando e innovando nuevas propuestas para mejorar la utilidad de estos instrumentos científicos centenarios, al mismo tiempo que se han convertido en guardianes, custodiando y poniendo en valor este legado.

Está estructurado como los institutos de Segunda Enseñanza nacidos en el siglo XIX, por lo que consta de un gabinete de Física, un gabinete de Química y un gabinete de Historia Natural, además de otras dependencias relacionadas con el estudio de los materiales vinculados a las Humanidades y los fondos bibliográficos. Además se ha introducido una sección nominada "Noticias", en la que se incluyen las novedades que está generando el patrimonio del IES Pedro Espinosa, tanto en los medios de comunicación como los referentes a las investigaciones realizadas sobre su material, destacando también los enlaces referentes a la RSEF, la RSEQ y la ANDPIH, para fomentar, asimismo, la enseñanza de la Física y de la Química, así como del patrimonio de los institutos históricos.

Respecto al gabinete de Física publicado en el MUVIPA, se ha dividido en torno a las ramas que existían en el siglo XIX de esta ciencia y que conciernen a la **Acústica**, la **Astronomía**, el **Calor**, el **Electromagnetismo**, la **Hidrostática**, la **Mecánica**, la **Meteorología**, la **Metrología** y la **Óptica**. En cada uno de estos apartados, se encuentran fotos, fichas y vídeos de los instrumentos mencionados. Se han fotografiado una vez que han sido limpiados, medidas sus dimensiones, datados, estudiada su composición, qué científico los diseñó, qué ley física permiten comprobar, para qué se utilizan, qué constructor los creó, qué político los acogió, qué universidad los avaló, en qué país ocurrió, entre otras preguntas.

Hasta el momento, están catalogadas más de 500 piezas entre instrumentos científicos, paneles, sustancias químicas, minerales, modelos anatómicos y mapas del siglo XIX y principios del XX. Esta catalogación se inició como propuesta en el marco de las investigaciones del programa PIIISA, relativa a la Historia de la Ciencia. Los instrumentos científicos se clasificaron en diez categorías correspondientes a su utilización para lo que fueron diseñados. Así se pueden distinguir instrumentos relacionados con la medida (01), el estudio y la demostración de una ley (02), lo tecnológico o el modelo tecnológico (03), la producción de agentes físicos (04), el uso no científico o cotidiano (05), lo recreativo (06), el modelo didáctico (07), lo auxiliar (piezas auxiliares) (08), el multiuso (09) y la investigación (10). Esto es consecuencia del modelo de clasificación que existía en los libros de Física del siglo XIX.

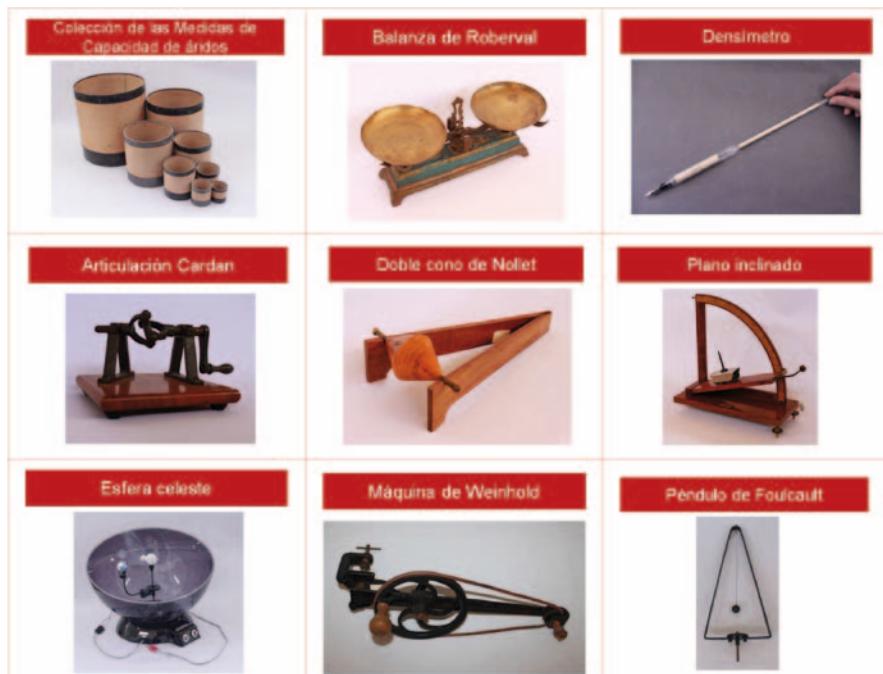
El número de catalogación asignado en el MUVIPA consta de tres o cuatro números, correspondientes al año de catalogación, a la categoría, al orden alfabético del instrumento dentro de su categoría y al número de piezas, siendo este último opcional.

Este trabajo se puede apreciar en el libro *Apostando por las vocaciones científicas desde la Educación Secundaria. Oportunidades mediante investigaciones con el programa SCIENCE-IES (PIIISA)*, publicado en el ámbito de Innovación Educativa por la Universidad de Málaga en 2017.

### Utilización del Patrimonio en el IES Pedro Espinosa

El funcionamiento de los instrumentos científicos centenarios permite medir magnitudes físicas, descubrir leyes físicas e investigar sobre fenómenos físicos, sin olvidar su función como modelos didácticos o productores de agentes físicos. Fueron diseñados por relevantes constructores franceses y destacados fabricantes alemanes del siglo XIX, a los que le siguieron los primeros fabricantes españoles de primeros del siglo XX. En la Tabla 1 se pueden apreciar algunos de los instrumentos del siglo XIX que alberga el patrimonio del IES Pedro Espinosa.

En los albores de la enseñanza de la Física en Secundaria, son piezas clave los **instrumentos de medida o Metrología**, por los que el alumnado en los primeros cursos de Física y Química, por ejemplo, puede apreciar la *colección de las medidas de capacidad para aceite, leche, vino y áridos*, afian-



**Fig. 2.** Algunos instrumentos científicos del patrimonio del IES Pedro Espinosa de Metrología, Mecánica y Astronomía.

zando el sistema métrico decimal de 1790, al mismo tiempo que aprenden sobre la comisión definitiva para sugerir este nuevo sistema, donde participaron el físico Coulomb y el químico Lavoisier. La medida de la masa es otra magnitud física de relevancia y que permite poner en valor balanzas como la *balanza de Roberval* y aprender que la diseñó el físico y matemático francés, Gilles Personne (1602-1675), quien la bautizó como su localidad natal. Fue la primera balanza proyectada con los platillos arriba, lo que la hacía más cómoda para la medida de la masa. El alumnado, en clase, puede apreciar la diferencia con las balanzas de precisión de la época y compararla con las balanzas de hoy día, mucho más precisas pero más impersonales, puede estimar su artesanía y cómo sus constructores permitieron la medida de la masa desde aquella época hasta nuestros días.

Otro material estrella, utilizado en el laboratorio, es el densímetro, que permite al alumnado aprender el concepto de densidad con la utilización de los pesa-leches, pesa-vinos o pesa-orinas a partir de *alcoholímetros de Cartier y Gay-Lussac*, *areómetros de Baumé y Nicholson* y la amplia colección de densímetros con los que cuenta el instituto.

Piezas imprescindibles en el estudio de la **Mecánica** son los instrumentos que facilitan la comprensión de los tipos de movimiento y las leyes de la Dinámica. En estos casos, cabe mencionar la utilización del *plano inclinado*, que permite estudiar experimentalmente las condiciones de equilibrio variando la inclinación del plano que se mide en una escala graduada. Destacable es el *engranaje o rueda dentada*, cuyo mecanismo se utiliza en la transmisión del movimiento rotatorio y del movimiento de torsión entre ejes. El abad y físico francés Jean Antoine Nollet también aportó en el siglo XVIII el diseño del *doble cono de Nollet*, que, al igual que el *cilindro ascendente*, explica que la estabilidad de un cuerpo corresponde a la posición más baja de su centro de gravedad. El *péndulo de retardo de Galileo o de aguje*, que capacita el estudio de la velocidad de un cuerpo cuando cae, por el principio de conservación de la energía, ilustra las clases de Dinámica en la ESO y Bachillerato. Cabe resaltar el *aparato de Weinhold*

para la *Mecánica de sólidos*, compuesto por un conjunto de poleas, que proporciona el estudio de muchos ensayos relacionados con esta máquina simple. Todo ello posibilita que el alumnado de Física tome conciencia de las leyes de la Física a partir del patrimonio, proporcionando al mismo tiempo investigaciones y diseño de experiencias que realimentan cada uno de los fenómenos físicos estudiados.

En el estudio del campo gravitatorio, toma relevancia la **Astronomía**, donde se utiliza la *máquina centrífuga de Weinhold* y todos sus *accesorios*, que demuestran el achatamiento de la Tierra, la fuerza centrípeta o la rotación de la Tierra, ilustrado perfectamente con el *péndulo de Foucault*. La utilización de este material acerca al alumnado a la emoción de percibir que los procesos que ocurren en la naturaleza se pueden reproducir con un diseño apropiado, como ya lo hacían los constructores científicos del siglo XIX. Tampoco se puede olvidar la *esfera celeste* para explicar tanto la rotación como la traslación de los cuerpos celestes, al mismo tiempo que puede visualizarse el comportamiento de la Luna, que, al no producirse su movimiento en el plano de los planetas y el Sol, hace posible que el alumnado perciba claramente el fenómeno de los eclipses.

Son clave en el estudio de los gases, la presión, el volumen y la temperatura, conceptos que en **Hidrostática** pueden desencadenar otros muchos estudios del comportamiento de los líquidos y los gases. Cabe mencionar el *diseño de los hemisferios de Magdeburgo* por el físico y jurista alemán, Otto von Guericke, que demuestran la existencia del vacío. Es elemental recalcar la importancia en la vida diaria del *ariete hidráulico o golpe de ariete*, porque estudia la sobrepresión que se puede producir en una tubería por una interrupción brusca del flujo, de ahí la relevancia del diseño de las instalaciones hidráulicas. Otro instrumento a tener en cuenta es el *manómetro de Bourdon*, que permite explicar el funcionamiento de los manómetros aneroides. Adquiere mucha consideración la *máquina neumática de Bianchi*, diseñada a partir de los trabajos del ingeniero inglés Henry Albert Fleuss por la empresa italiana Bianchi, que es la más antigua del mundo en la fabricación de bicicletas, con las dos ruedas del mismo tamaño de



Fig. 3. Algunos instrumentos científicos del patrimonio del IES Pedro Espinosa de Hidrostática, Meteorología y Electromagnetismo.

radio y fabricadas con neumáticos de goma. Cabe señalar la *bomba aspirante-impelente*, que es empleada en la elevación de líquidos debido al efecto de la presión atmosférica. Todos estos estudios se pueden completar con la ilustración del *tubo de Newton*, diseñado para demostrar la existencia del vacío.

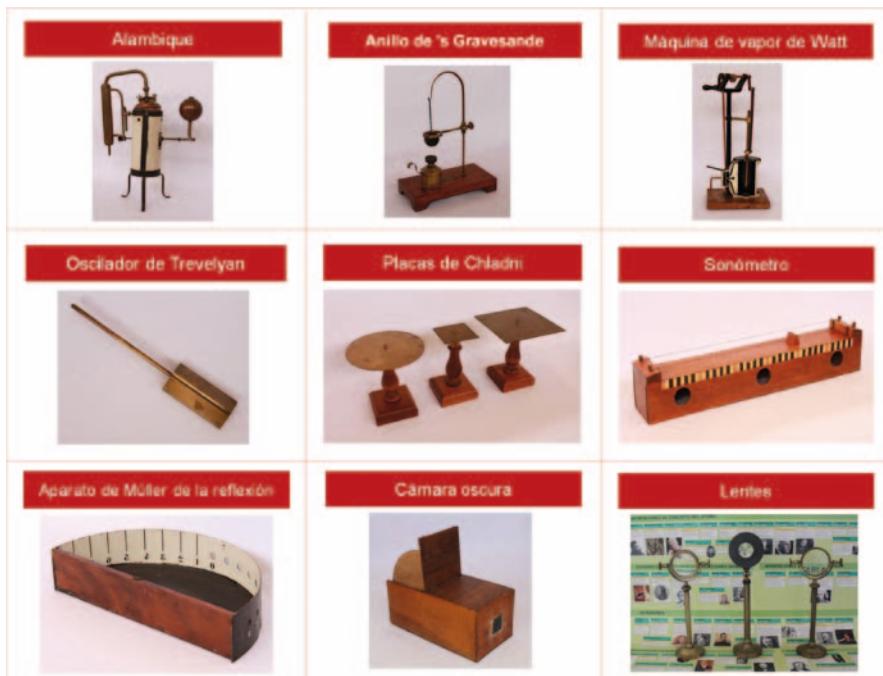
Un capítulo aparte lo constituye el estudio de la propia atmósfera o **Meteorología**, y que en el instituto se ve avalado por instrumentos tales como termómetros, incluido el *termómetro de Six de máxima y mínima*, *barógrafo registrador de Richard*, *barómetros de sifón de Gay-Lussac*, *barómetro de Fortin*, *barómetros aneroide o de Vidie*, *higrómetro de Daniell* o *psicrómetro de August*. Estos instrumentos centenarios se utilizaron en el estudio de la Meteorología de Antequera, durante el curso 2013/2014, así como cuando se organizan exposiciones o, con carácter excepcional, en alguna clase para el estudio de los gases.

Los temas relacionados con el **Electromagnetismo** se ven ilustrados con la apreciación de los instrumentos centenarios, como la *botella de Leiden*, diseñada por el físico holandés Pieter van Musschenbroek, profesor en la Universidad de Leiden, y primer dispositivo inventado para almacenar carga eléctrica, siendo, por tanto, el primer condensador de la historia. Es también destacable la *pila de Volta*, que en 1800 cautivó a Napoleón cuando vio que este aparato era capaz de transformar la energía química en eléctrica. Digno de mención es el *telégrafo de Breguet*, desarrollado por Louis François Clément Bréguet hacia 1845, que revolucionó las comunicaciones a grandes distancias de forma instantánea en el siglo XIX. Son remarcables, de la misma forma, las investigaciones realizadas, como la del curso 2013/2014, con motivo del I Centenario del átomo de Bohr, en el que se hicieron diferentes espectros utilizando el *espectroscopio de Bunsen y Kirchhoff*, el *carrete de Ruhmkorff* y distintos *tubos de descarga*, de tal manera que el alumnado aprendió el significado del espectro electromagnético perfectamente. Tampoco pasa desapercibida la puesta en marcha de la *máquina de Wimshurst* en las clases relacionadas con la Electrostática, que sirven de ilustración a los conceptos de atracción y repulsión entre las cargas.

En el capítulo del **Calor** se emplean instrumentos tales como el *baño María*, que permite calentar por debajo del punto de ebullición del agua, el *alambique*, que es pieza clave en las destilaciones, el *anillo de 's Gravesande*, que demuestra la dilatación de los cuerpos, o el *pirómetro de cuadrante*, diseñado por Pieter van Musschenbroek, que percibe la dilatación lineal de los sólidos metálicos. Citas obligadas son el *higrómetro de Regnault*, que determina la temperatura de 0 °C, o el *modelo de la máquina de vapor de Watt*, que ilustra la teoría de la entrada de vapor a través del funcionamiento de un émbolo, cuando se acciona con una manivela. Para finalizar mencionar al *regulador de Watt*, que es capaz de controlar la velocidad angular de un motor, modulando la cantidad de vapor admitido.

Es un clásico, en las clases de **Acústica**, la utilización de los *sonómetros*, que permiten el estudio cuantitativo del sonido, las *bocinas*, responsables de la amplificación del sonido, que ya Napoleón utilizaba para transmitir a sus tropas órdenes a unos cuantos kilómetros, o los diapasones, tan precisos en el afinado de los instrumentos musicales y cuyo diseño actual data de 1711, cuando John Store, jefe de trompetas al servicio del rey Jorge I de Inglaterra, lo modificó respecto a los antiguos diapasones. Tampoco se debe olvidar el *oscilador de Trevelyan*, que es el primer instrumento capaz de transformar el calor en sonido, una vez que se calienta con un soplete. Es interesante destacar el *martillo de agua*, que emite un especial estruendo al agitarlo, debido a que no hay aire dentro del tubo de vidrio que lo forma y toda el agua se deja caer al mismo tiempo. Acentuar la aportación en las clases de ondas de las *placas de Chladni*, que destacan por su sencillez y facilidad con la que el alumnado puede observar los vientos y los nodos que el sonido produce cuando la arena se desplaza al tocar la placa de Chladni con un arco de violín.

En lo que respecta a la **Óptica**, el alumnado aprende las leyes de Snell con la utilización de los *aparatos de la reflexión y de la refracción de Müller*, que permiten el cálculo de los índices de refracción de distintos materiales. Al mismo tiempo, se puede hacer uso de la *cámara oscura*, también reproducida



**Fig. 4.** Algunos instrumentos científicos del patrimonio del IES Pedro Espinosa de Calor, Acústica y Óptica.

por el alumnado tanto de la ESO como de Bachillerato en las clases de Física, en la que aprenden el funcionamiento del que se considera el padre de la cámara fotográfica. A un nivel más avanzado de la Óptica, se utilizan los *espejos planos, cónicos y convexos* y las *lentes convergente, divergente y cónica* para detectar las imágenes, así como para estudiar cualitativa y cuantitativamente sus características. No se debe olvidar la utilización en las clases de Óptica del *disco cromático de Newton* para explicar la luz blanca como resultado de los siete colores del arco iris, el *microscopio Nachet*, empleado para examinar objetos transparentes, o las *pinzas de turmalina* que recrean la doble refracción.

Hay que matizar que la utilización de los instrumentos científico-históricos se hace en clases muy determinadas y, sobre todo, se emplean para las diferentes investigaciones que se realizan bajo el marco de los distintos proyectos en los que está inmerso el IES Pedro Espinosa.

Cada una de las investigaciones realizadas no solo versa sobre la historia de la ciencia implicada, sino del conocimiento cuantitativo, que emana de los datos obtenidos con las medidas realizadas con estos instrumentos científicos centenarios.

Desde la creación del MUVIPA en 2015, se celebra en nuestro instituto la "Jornada Científica", a modo de una feria de la Ciencia, para celebrar San Alberto Magno, y son los llamados "científicos en acción", alumnos del bachillerato científico, quienes explican las leyes y el funcionamiento de los instrumentos científicos que se exponen. Esta búsqueda ha permitido fomentar el conocimiento de muchos de los conceptos relacionados con la Física que se estudian en los currículos de la ESO y Bachillerato, creando en muchos casos vocaciones científicas en las nuevas generaciones.

## Conclusiones

Los institutos de Segunda Enseñanza creados a partir de 1845 contribuyeron al desarrollo, avance y florecimiento de nuestra actual sociedad científico-tecnológica, ya que facilitaron un elenco de instrumentos científicos que han sido piezas clave en la elaboración de los aparatos de la sociedad actual.

La herencia científico-histórica del IES Pedro Espinosa está considerada como un inmenso tesoro que nos identifica, donde el alumnado ha aprendido que hay que protegerlo, conservarlo y difundirlo para que también las próximas generaciones puedan beneficiarse en el camino hacia el conocimiento de la Física.

En este párrafo final, quiero señalar mi más sincero agradecimiento a José María Pastor Benavides, catedrático emérito de Educación Secundaria, por sus oportunos comentarios en la revisión de este artículo, guiado por su conocimiento e interés sobre el patrimonio de los instrumentos científicos con que se enseñaba la Física en los institutos históricos.

## Referencias

- [1] M. M. ARIZA MONTES, "Museo Virtual del Patrimonio del IES Pedro Espinosa", 2015 [<http://museovirtualiespedroespinoza.blogspot.com.es/>] (consultado el 14 de enero de 2020).
- [2] F. GIRES, *L'Empire de la Physique* (Gabinet de Physique du Lycée Guez de Balzac d'Angoulême. Association de Sauvegarde et d'Étude des Instruments Scientifiques et Techniques de l'Enseignement [ASEISTE], Niort, 2006).
- [3] Asociación Nacional para la Defensa del Patrimonio de los Institutos Históricos (ANDPIH). [<http://www.asociacioninstitutos-historicos.org/>] (consultado el 19 de marzo de 2020).
- [4] J. I. CRUZ OROZCO, "Los institutos de Segunda Enseñanza en España. Datos sobre su implantación", *Educatio Siglo XXI*, vol. 30, 233-252, 2012.
- [5] M. FERNÁNDEZ PARADAS y V. M. HEREDIA FLORES, "La Segunda Enseñanza en Antequera (1844-1928): los colegios de San Luis Gonzaga", *Revista de Estudios Antequeranos* 4, 1996, 81-178.
- [6] E. ORTEGA y A. PAREJO, *El Instituto Pedro Espinosa de Antequera: sus primeros años (1928-1934)* (Ayuntamiento de Antequera, 1992).
- [7] C. ROMERO BENÍTEZ, "Historia de un olvido: patrimonio en los centros escolares. Centros escolares con patrimonio. IES Pedro Espinosa. Antequera (Málaga)", *CEE Participación Educativa*, 7, marzo de 2008, pp. 79-85.