

## NATURALEZA DE LA CIENCIA Y COLECCIONES CIENTÍFICAS: UNA PROPUESTA DE TALLER EXPERIMENTAL

**ANXO VIDAL NOGUEIRA**

INSTITUT INTERUNIVERSITARI LÓPEZ PIÑERO

*Resumen:* Esta contribución tiene como objetivo proporcionar herramientas a docentes de educación secundaria y superior para la integración de colecciones históricas en la enseñanza de las ciencias. Presentamos un taller práctico centrado en un instrumento científico histórico. En concreto, proponemos la reconstrucción de un sacarímetro —un dispositivo del siglo XIX utilizado para medir la concentración de sacarosa— dentro de un escenario histórico ficticio. Nuestro objetivo es abordar conceptos científicos al mismo tiempo que se exploran elementos históricos, filosóficos y sociológicos, fomentando un enfoque que supere fronteras disciplinarias. Este taller se basa en trabajos previos centrados en el uso educativo de instrumentos históricos y se enmarca en el enfoque de la «nature of science».

Palabras clave: *naturaleza de la ciencia, talleres experimentales, patrimonio científico.*

### **Naturalesa de la ciència i col·leccions científiques: una proposta de taller experimental**

*Resum:* Aquesta contribució té com a objectiu proporcionar eines als docents d'educació secundària i superior per a la integració de col·leccions històriques en l'ensenyament de les ciències. Presentem un taller pràctic centrat en un instrument científic històric. En concret, proposem la reconstrucció d'un sacarímetre —un dispositiu del segle XIX utilitzat per a mesurar la concentració de sacarosa— dins d'un escenari històric fictici. El nostre objectiu és abordar conceptes científics al mateix temps que s'exploren elements històrics, filosòfics i sociològics, fomentant un enfocament que superi fronteres disciplinàries. Aquest taller es basa en treballs previs centrats en l'ús educatiu d'instruments històrics i s'emmarca en l'enfocament de la «nature of science».

Paraules clau: *naturalesa de la ciència, tallers experimentals, patrimoni científic.*

## Nature of science and scientific collections: an experience-based workshop proposal

*Summary: This contribution aims to provide teachers in secondary schools and universities with practical tools to integrate historical collections in science education. We present a hands-on workshop centered around a historical scientific instrument. Specifically, we propose a reconstruction of the saccharimeter –a 19th-century device used to measure sucrose concentration— set within a fictional historical scenario. Our objective is to address scientific concepts while also exploring historical, philosophical, and sociological perspectives, fostering an approach that transcends traditional disciplinary boundaries. This workshop builds on existing work related to the educational use of historical instruments and is framed within the «nature of science» framework.*

Key words: *nature of science, experience-based workshops, scientific heritage.*

### Introducción<sup>1</sup>

En este artículo describimos un taller historicoexperimental desarrollado en el contexto del proyecto de comunicación científica Física Cíborg, el cual procura aunar en un mismo espacio educativo ciencia, historia, filosofía y sociología de la ciencia<sup>1</sup>. Pretende ser una pequeña contribución a la resolución de dos problemas: uno patrimonial y otro educativo.

El primero de los problemas tiene que ver con el rico patrimonio científico que hoy en día se conserva en numerosas universidades e institutos a nivel nacional e internacional, el cual se encuentra en situaciones muy diversas en cuanto a conservación y difusión, pero en términos generales desligadas de iniciativas educativas. Abordaremos esta cuestión en la primera sección. El segundo problema tiene que ver con la desconexión de la educación científica con los campos de la historia, filosofía y sociología de la ciencia. Una situación problemática por diversos motivos, que van desde lo pedagógico hasta lo político. En la segunda sección abordaremos una serie de propuestas para su superación, nombradamente la corriente de la *nature of science* (NOS, por sus siglas en inglés). Finalmente, describiremos una propuesta de taller historicoexperimental centrado en el sacarímetro, un instrumento para la medición de la concentración de azúcar del siglo XIX.

### Patrimonio y educación científica

Las instituciones educativas son generadoras de patrimonio. Como consecuencia, hoy muchas universidades e institutos albergan conjuntos patrimoniales de gran antigüedad y valor, tanto a nivel nacional como internacional. Es habitual que el grueso de estas colecciones provenga de los antiguos gabinetes educativos configurados a lo largo del siglo XIX, en un contexto educativo en el que la demostración experimental se consolidó como indispensable en la enseñanza de las ciencias (Guijarro Mora, 2017). Estos gabinetes crecieron a lo largo de las décadas, hasta caer en el desuso y en el olvido —con una intensidad variable entre instituciones— en algún momento del siglo XX.

Hoy son conservadas con un estatus enormemente variable, desde la exposición pública hasta el almacenamiento negligente (Lourenço, 2005). En el ámbito nacional, tras un esfuerzo catalogador notable a finales del siglo pasado y comienzos del presente, hoy existen numerosos catálogos, webs y asociaciones sobre este patrimonio a nivel nacional (Del Egido Rodríguez, 2000; Bertomeu Sánchez

1. Física Cíborg es un proyecto de comunicación científica coorganizado por el Institut Interuniversitari López Piñero de la Universitat de València y la Facultade de Física de la Universidad de Santiago de Compostela. Está financiado por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) [FCT-23-19590]. Entre sus actividades se encuentran la realización de exposiciones, vídeos divulgativos, rutas urbanas y talleres experimentales.

y García Belmar, 2002; Sisto Edreira y Losada Sanmartín, 2009; Vallmitjana i Rico, 2011; VV. AA., 2008). Sin embargo, el patrimonio científico histórico continúa en una situación de cierta indefinición, sin una integración clara en las prácticas educativas —e investigadoras en el caso de la universidad—, salvo algunas excepciones<sup>2</sup>.

Existe, por otro lado, cierto consenso en el ámbito académico de la cultura material y los estudios sobre el patrimonio científico en que la consolidación de las colecciones pasa en buena medida por su integración en el ámbito didáctico (Lourenço y Wilson, 2013; Simpson, 2014; Alberti, 2017). En las últimas décadas han surgido diferentes propuestas a lo largo y ancho del ámbito europeo y americano en este sentido<sup>3</sup>. Lejos de existir un marco común, las propuestas se caracterizan por la pluralidad de enfoques y objetivos, fruto de un contexto diverso en lo que se refiere a la disponibilidad de recursos, estado de las colecciones y procedencia disciplinar de los diferentes proyectos. Así, las aproximaciones varían desde la catalogación de instrumentos hasta la realización de trabajos de conservación, con todo un espectro entre medias: visitas guiadas a las colecciones, realización de trabajos de investigación, reconstrucción de experimentos históricos, diseño de exposiciones...

Por nuestra parte, una vez asumida la necesidad de dar un uso educativo al patrimonio, más allá de la decoración a la que se ve relegada en muchas instituciones, nos hemos planteado qué aproximación sería la óptima para ello. Hemos concluido que el enfoque de la *Nature of Science* es el que ofrece mayores posibilidades a la hora de sacarle partido al patrimonio histórico.

### ***Nature of Science***

La educación científica actual se encuentra del todo desligada de la reflexión humanística. En el ámbito educativo, tanto en el secundario como en la universidad, se potencia la división entre ciencias y humanidades en un esquema disciplinar fuertemente dividido y estanco, donde el diálogo entre materias o grados es ora beligerante ora inexistente. En España, por ejemplo, la presencia de asignaturas que lidien con aspectos históricos o sociales en las carreras científicas es minoritario.

Desde hace varias décadas y desde diferentes ámbitos se viene advirtiendo sobre lo problemático de esta situación y lo necesario que resulta incluir en la educación una contextualización de la práctica científica. McComas y Clough, en la panorámica *Nature of Science in Science Instruction* (2020), proporcionan una lista de motivos por los que la inclusión de la NOS es necesaria en cualquier educación científica que se precie: por ser necesaria para entender la ciencia; por despertar interés en los estudiantes y promover la apreciación de la actividad científica; por tener utilidad práctica a la hora de realizar ciencia; por resultar vital para el ejercicio ciudadano, y por ayudar a los estudiantes a comprender mejor ciertos contenidos científicos. A ello podríamos sumarle los riesgos asociados a un ejercicio profesional de la ciencia sin herramientas críticas para valorar su rol social, económico o político. En este sentido, existe una clara relación entre una visión superficial de la práctica científica —promovida especialmente, por otro lado, desde el ámbito de la divulgación científica— y una visión tecnocrática de la relación ciencia-sociedad, tal y como ha mostrado Bucchi (2009). La naturaleza de la ciencia debe formar parte de la educación científica por ser esencial para una ciencia

2. Son quizás excepciones en este sentido la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona y el Institut Interuniversitari López Piñero de la Universitat de València, que desarrollan con cierta frecuencia acciones educativas alrededor de sus colecciones, integradas dentro de diversos grados.

3. Muchas de ellas pueden encontrarse en revistas especializadas como el *University Museums and Collections Journal*.

crítica y democrática.

Existe numerosa literatura en torno a la naturaleza de la ciencia y la contextualización de la práctica científica en el aula (Prestes y Silva, 2018). En un principio, la NOS procuró establecer una serie de descriptores que diesen cuenta de la complejidad de la ciencia y sustituyesen a la noción naïf de método científico, y alcanzó en ello cierto consenso (Lederman *et al.*, 2002). La utilidad de esta lista de principios, sin embargo, ha sido cuestionada ya que podría ser asimilada dogmática y acríticamente por el alumnado, por lo que se caería de nuevo en parte de los problemas que se procuraban superar. Mathews (2015) aboga por una aproximación más amplia, que sustituya la demasiado rígida noción de «naturaleza de la ciencia» por una más flexible, las «características de la ciencia» —o *features of science* en el inglés original, FOS por sus siglas—. Ello permitiría tratar aspectos más alejados de la metodología científica en un sentido estricto y abordar cuestiones más amplias relacionadas con la política, la economía o la cultura. Como una muestra del tipo de cuestiones que podrían ser de interés tratar en el aula de ciencia, asumiendo esta perspectiva de los FOS, citamos al propio Mathews (2025: 404):

*What is a scientific explanation? What is a controlled experiment? What is a crucial experiment, and are there any? How do models function in science? How much confirmation does a hypothesis require before it is established? Are there ways of evaluating the worth of competing research programmes? Did Newton's religious belief affect his science?*

En un tono similar respecto de la necesidad de no limitar la educación de la NOS a una serie de principios a modo de «receta», se encuentra la propuesta de Douglas Allchin, quien aboga especialmente por el uso de la historia de la ciencia en el aula. En su obra *Teaching the Nature of Science* (2013) identifica una serie de problemas en la visión de la ciencia que promueve la educación actual. Una de ellas sería la mitificación de la actividad científica y de la figura del científico. Critica en este sentido el uso de la «pseudohistoria» en la educación científica, una historia adulterada con tendencia a justificar valores morales a través de la historia y a romantizar la historia de la ciencia a través de momentos *eureka*. Critica también su simplificación, su nula referencia a errores y el uso constante de la idea de experimento crucial, así como la ausencia total de elementos contingentes en el desarrollo de la ciencia.

Así, el taller que proponemos se sitúa en estas corrientes, asumiendo la necesidad de incluir la naturaleza de la ciencia en la educación científica y creyendo en la utilidad de la historia a la hora de construir propuestas en ese sentido. Los instrumentos científicos nos ofrecen una gran oportunidad en ese sentido, como veremos.

### **La propuesta: talleres experimentales sobre casos históricos**

Nuestra propuesta recoge, por un lado, la tradición de la NOS e intenta integrar en ellos instrumentos científicos. Nos hemos apoyado para ello en los *Harvard Case Histories in Experimental Science* (Conant, 1957), que exponen un conjunto de casos históricos alrededor de la práctica experimental, así como en los *Minnesota Case Studies*, un conjunto, también, de casos históricos que pretenden mostrar la naturaleza de la ciencia procurando incluir también factores culturales, biográficos, elementos de género, clase y la cultura material de la ciencia. Por otro lado, a la hora de pensar en la construcción de iniciativas didácticas a partir de instrumental antiguo, nos hemos

apoyado en la obra editada por Heering y Cavicchi *Historical Scientific Instruments in Contemporary Education* (2022), especialmente en las aproximaciones que se basan en la participación activa del estudiantado y la reconstrucción de experimentos e instrumentos antiguos. También las reconstrucciones realizadas en el marco del curso *Material Culture of Science in the History of Physics* han servido de apoyo para el presente taller<sup>4</sup>.

Creemos que la combinación de estas dos tradiciones puede aportar grandes beneficios. Por un lado, consideramos que cualquier iniciativa alrededor de instrumental histórico debe incluir la perspectiva de la NOS. La reconstrucción de experimentos históricos tanto puede promover el aprendizaje de una ciencia contextualizada y la comprensión de su naturaleza, como puede estar al servicio de una narrativa monumentalista e idealizada, que toma los significados actuales y los proyecta en el pasado, naturalizando ciertos puntos de vista y promoviendo una visión teleológica de la historia científica ya tiempo atrás descartada por la comunidad de historiadores de la ciencia. Para que el patrimonio no sea descontextualizado es preciso incluir la NOS como eje vertebrador de cualquier iniciativa educativa. Por otro lado, los casos históricos focalizados en la NOS pueden verse beneficiados de una mayor atención a los instrumentos científicos. Permite superar cierto personalismo presente en algunos casos históricos de este tipo, al estar construidos alrededor de una figura de la mitología científica (Robert Hooke, Galileo, Darwin...). Los instrumentos permiten focalizarse en prácticas, fenómenos, espacios, técnicos invisibles... Superan nombres propios y con ello una visión simplista de la construcción del conocimiento. Además, la materialidad de los objetos patrimoniales permite transmitir de forma muy palpable la naturaleza histórica y cambiante de la ciencia, contribuyendo a la construcción de una imagen contextualizada de la misma. Finalmente, comprender el funcionamiento de los aparatos requiere abordar elementos estrictamente científicos (fenómenos, leyes...), lo cual facilita su inclusión en materias no humanísticas y, en consecuencia, su integración en los planes de estudio actuales.

### **Una propuesta concreta con el sacarímetro**

El presente taller nace, como ya hemos dicho, de la experiencia del proyecto de comunicación científica Física Cíborg. Todos los talleres realizados al abrigo de este proyecto se articulan a partir de un instrumento científico de una colección universitaria. En particular, de las universidades de Santiago y de València. Los talleres consisten en la replicación de algún procedimiento experimental relacionado con la pieza patrimonial. La reconstrucción, por otra parte, se lleva a cabo en un escenario histórico ficticio que permite abordar elementos de la naturaleza de la ciencia, siguiendo lo propuesto por Allchin en su módulo sobre el juicio de Galileo (2013: 202-225).

El presente taller se ha realizado para alumnado de diferente perfil, desde bachillerato hasta personas mayores en programas formativos de extensión cultural, pasando por población general en ámbitos divulgativos. Se trata de un taller fácilmente adaptable a diferentes públicos. En este sentido, la principal dificultad para su realización radica en la comprensión de los fenómenos de polarización de la luz y de actividad óptica, por lo que es recomendable su realización con alumnado con unas nociones básicas de física y, especialmente, de óptica. Consideramos que el alumnado de bachillerato y educación superior son los que podrían sacar mayor partido al presente taller.

---

4. Desarrollado en el Deutsches Museum en 2024, conducido por Peter Heering y Julia Bloemer (Europa-Universität Flensburg), Johannes-Geert Hagmann (Deutsches Museum) y Kristen Frederick-Frost (National Museum of American History).

### **Descripción y breve historia del sacarímetro**

Un sacarímetro es un instrumento de medición utilizado en diferentes versiones, y con diferentes nombres, desde mediados del siglo XIX hasta principios del XX para determinar la concentración de ciertas sustancias en una disolución, con especial aplicación para el caso de la sacarosa. Se basa en la actividad óptica de este tipo de disoluciones, que giran el plano de polarización de la luz que las atraviesa. El sacarímetro permite medir dicha rotación, lo cual se puede relacionar con la cantidad de sustancia ópticamente activa presente en una disolución dada y, con ello, determinar la concentración de aquella.

Un sacarímetro consiste en una fuente de luz, un sistema polarizador, la disolución a medir, otro sistema polarizador y un ojo capaz de ver, en ese orden (véase la fig. 1). El procedimiento de medición es relativamente sencillo. Primero se calibra el sistema sin ninguna muestra entre los dos polarizadores: se ajusta la posición relativa de los polarizadores girando —o haciendo una acción equivalente, según el tipo de sistema polarizador— el segundo polarizador, denominado «analizador», hasta alcanzar cierta imagen. La imagen específica que ha de buscarse depende del tipo de sacarímetro, en uno del tipo Soleil-Duboscq, por ejemplo, ha de procurarse la igualación de los colores de dos semicírculos. En la versión propuesta en este taller habrá de buscarse la extinción (máxima) de la luz procedente de la fuente luminosa.

Una vez alcanzada dicha imagen, se procede a colocar la muestra. Por efecto de la interacción de las moléculas de la sacarosa con la luz, que giran su plano de polarización, la imagen producida por el sistema habrá cambiado respecto de la inicial, ya que la luz llega al analizador con un ángulo de vibración diferente al inicial. Ahora se debe ajustar la posición relativa de los polarizadores girando el analizador hasta alcanzar, de nuevo, la misma imagen que en el paso primero.

Midiendo el giro necesario en este segundo paso puede saberse la diferencia entre las posiciones relativas de los polarizadores con y sin disolución, esto se relaciona de forma directa con el giro del plano de polarización producida por la muestra y ello con la concentración de la misma. Cuanto mayor es el giro necesario en el segundo paso, mayor será la concentración de la muestra.

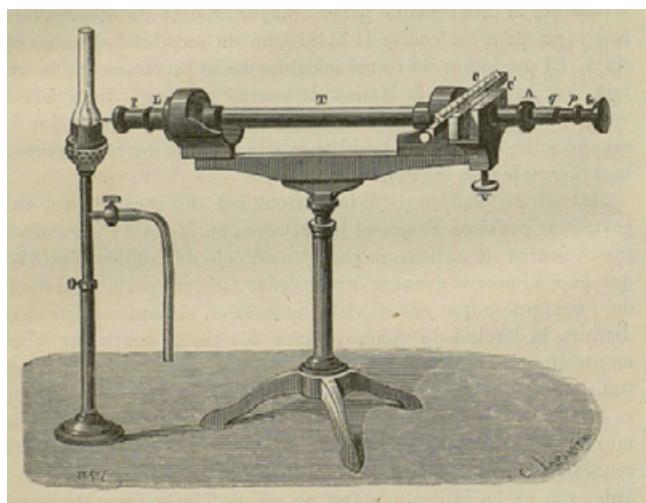


FIGURA 1. Un sacarímetro de Soleil. A la izquierda se encuentra la fuente de luz, en P y A dos polarizadores y en T la muestra. El ojo del medidor observaba a través del anteojos G, situado a la derecha.

FUENTE: *Manipulaciones de física* de Henri Buignet (1887).

El sacarímetro tiene sus orígenes en los trabajos de Jean-Baptiste Biot sobre la actividad óptica en la primera mitad del siglo XIX (Johnston, 1998). Durante el siglo XIX y parte del XX se desarrollaron un gran número de modelos con diversas variaciones. El sacarímetro fue ganando importancia paulatinamente hasta ser común en manuales de física y química, así como en los gabinetes científicos de universidades e institutos. El motivo de su popularidad lo resume Henri Buignet en sus *Manipulaciones de física* (1887: 483):

(...) la cuestión industrial que a él se refiere es de tal importancia, que se han buscado medios más sencillos y sobre todo más prácticos para obtener su solución. Con este objeto se ha construido el instrumento denominado sacarímetro.

La cuestión industrial a la que hacía referencia Buignet tiene que ver con el peso económico que ganó la manufactura de azúcar a lo largo del siglo XIX. El sacarímetro permitía determinar la pureza de una muestra de azúcar bruto, esta capacidad resultaba de enorme interés en la cada vez más importante industria azucarera. Una de las aplicaciones más destacables del sacarímetro se dio en los laboratorios aduaneros de los Estados Unidos, donde se convirtió en el estándar de medida para la pureza del azúcar bruto de importación (Singerman, 2007). El instrumento adquiría así una importancia capital, ya que venía a resolver una cuestión con enorme controversia:

*By the turn of the century, the lack of uniform and accurate saccharimetric methods had become a never-ending source of disputes between commercial interests and the government, and many millions of dollars were at stake* (Singerman, 2007: 57).

Y es que un error de unos pocos grados en la medición del giro de polarización, y por tanto en la concentración de la muestra, podía suponer miles de dólares en aranceles para una empresa importadora y para la hacienda pública, con beneficio o perjuicio para ellos dependiendo de si el error era en exceso o en defecto. La mejora paulatina del sacarímetro y las disputas en torno a él se relacionan de forma directa con la economía del momento y las políticas proteccionistas de diversos países. Es un ejemplo claro de construcción de un estándar, en este caso de medición, central en la relación ciencia-estado-mercado.

El sacarímetro es un instrumento conveniente para un taller como el que planteamos por diversos motivos. Por un lado, es un aparato habitual en las colecciones históricas de universidades, institutos y museos (véase la fig. 2). Por otro lado, su funcionamiento esquemático es relativamente sencillo, aunque no totalmente evidente, lo cual nos permite situar a los participantes en una situación de replicación sugerente en la que realmente pueden desarrollar un proceso activo de resolución de problemas, así como abordar conceptos fundamentales de física y química. Por otro lado, el sacarímetro es un instrumento con cierta literatura a su alrededor, lo que permite contextualizarlo históricamente de forma rigurosa.



FIGURA 2. Sacarímetro de Soleil, perteneciente a la Colección de Física y Química del IES Francisco Ribalta (Castelló de la Plana). Ejemplares como este, o similares, son comunes en los gabinetes históricos de institutos y universidades en España.

FUENTE: Comissió d'instruments científics.

### El taller

El taller cuenta con cuatro partes: explicación de conceptos físicos, reconstrucción, discusión de elementos de la NOS y encuentro con el aparato.

#### **Primera parte: conceptos físicos**

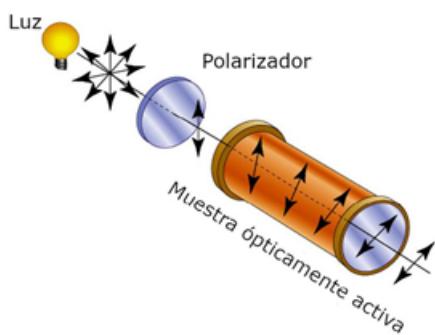


FIGURA 3. Diagrama que muestra el giro en la vibración de la luz linealmente polarizada provocado por una sustancia ópticamente activa.

FUENTE: elaboración propia a partir de Skripta 2.LF, CC BY-SA 4.0  
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>, via Wikimedia Commons.

En la primera parte se lleva a cabo la explicación de dos conceptos físicos: el de polarización y el de actividad óptica. La explicación puede llevarse a cabo de la manera que resulte más conveniente a juicio del docente. Se recomienda, en todo caso, apoyarse para ello en láminas polarizadoras, para mostrar el efecto producido en diferentes posiciones relativas de los mismos. Ello será fundamental para la reconstrucción posterior.

Es crucial que el estudiantado comprenda que el paso de la luz depende del ángulo relativo entre

los dos polarizadores, y que ello se debe a que éstos solamente dejan pasar la luz que vibra en una cierta dirección. Así mismo, debe quedar claro que una sustancia ópticamente activa es capaz de girar esa dirección de vibración. Resulta útil la utilización de diagramas (véase la fig. 3).

### **Segunda parte: la reconstrucción**

La reconstrucción propone un juego ficcional en el que los participantes pretenden ser científicos del siglo XIX. La ficción, como hemos dicho, pretende introducir una serie de elementos propios del contexto científico decimonónico que servirán de punto de partida para la discusión de los conceptos de la NOS en la tercera parte. El juego ficcional puede llevarse al extremo asignando identidades a los participantes: un médico, un boticario, un ingeniero... De este modo puede ponerse sobre la mesa una imagen de la comunidad científica y académica del siglo XIX, copada por hombres liberales y académicos de clase media-alta y discutir, en la tercera parte, elementos relacionados con el sesgo de género y de clase en la práctica científica.

Una vez presentado el escenario ficcional y asignados, en su caso, los roles, se visualiza un vídeo en el que se muestra la utilización de un sacarímetro Soleil-Duboscq del siglo XIX.<sup>5</sup> Se trata de una de las reproducciones realizadas por Paolo Brenni y su equipo con la colección de la Fondazione Scienza e Tecnica de Florence, las cuales mantenían una altísima fidelidad a los procedimientos y materiales originales (Brenni, 2021). El vídeo es presentado a los participantes como si se estuviese asistiendo a una demostración pública sobre el funcionamiento del sacarímetro por parte de «un sabio italiano», que habría estado realizando cursos y demostraciones en España. Introducimos de este modo la figura del demostrador, que tuvo una gran importancia en la difusión del conocimiento científico y en el surgimiento de una cultura científica en los siglos XVIII y XIX. El demostrador ficticio del que se habla en la carta bien podría ser un alter ego de François de Bienvenu, demostrador francés que realizó diversas demostraciones en la España decimonónica (Suay-Matallana y Bertomeu Sánchez, 2016).

Tras la visualización del vídeo se reparte a los participantes una carta de un ficticio colega científico que, se nos revela, también asistió a la misma demostración.<sup>6</sup> La carta fue un medio esencial en la ciencia de los siglos XVIII, XIX y parte del XX. Su inclusión en el taller nos permitirá posteriormente discutir sobre las formas en las que los científicos han transmitido su conocimiento a lo largo de la historia y las limitaciones inherentes a estos medios.

El colega científico explica en la carta que él ha conseguido replicar el aparato con material mucho más asequible que el utilizado por el sabio italiano. En particular, solo necesitó un frasco casero con la disolución a medir, una fuente de luz y dos láminas polarizadoras de su invención, las cuales nos envía como muestra junto a la carta —se trata de láminas polarizadoras modernas de fácil obtención. La cuestión de la asequibilidad del material nos servirá para discutir sobre la obtención de recursos para la investigación científica.

En el resto de la carta nos describe de forma esquemática la disposición de los materiales y los pasos a seguir para determinar el giro de polarización de la luz y, con ello, una estimación de la concentración de azúcar. Tras leer la carta, los participantes han de, por grupos, intentar replicar el referido instrumento con los mismos materiales: las dos láminas polarizadoras, un bote de vidrio cerrado

5. <https://www.youtube.com/watch?v=hTEMgXSX6ak>

6. Disponible aquí: <https://fisicaciborg.blogs.uv.es/carta-taller-sacarimetro/>

con una disolución de agua y azúcar (la concentración ha de ser considerablemente elevada para que el giro de la polarización sea lo suficientemente perceptible), y su teléfono móvil como fuente de luz.

La disposición a la que deberían llegar, la más conveniente, es la indicada en la figura 4. Dispuesto el móvil encima de una superficie plana, haciendo de fuente luminosa, se coloca una lámina polarizadora encima de él. Luego, se toma con una mano la otra lámina polarizadora y se coloca en el eje vertical sobre el teléfono y la otra lámina. Así queda formado un sistema óptico teléfono-lámina-lámina-ovo (parte izquierda de la fig. 4). En esa disposición se realiza el calibrado, buscando la extinción de la luz del teléfono girando el polarizador que se tiene en la mano, delante del ojo. Una vez encontrada la extinción máxima de la luz proveniente del móvil, y sin mover ninguno de los polarizadores, se coloca la muestra tomándola con la otra mano, así queda formado un sistema teléfono-lámina-muestra-lámina-ovo (parte derecha de la fig. 4) y se observa que la extinción de la luz ya no es máxima, ahora pasa una mayor cantidad de luz por el sistema. Se gira el segundo polarizador hasta alcanzar de nuevo la extinción de la luz y se estima el ángulo del giro realizado.

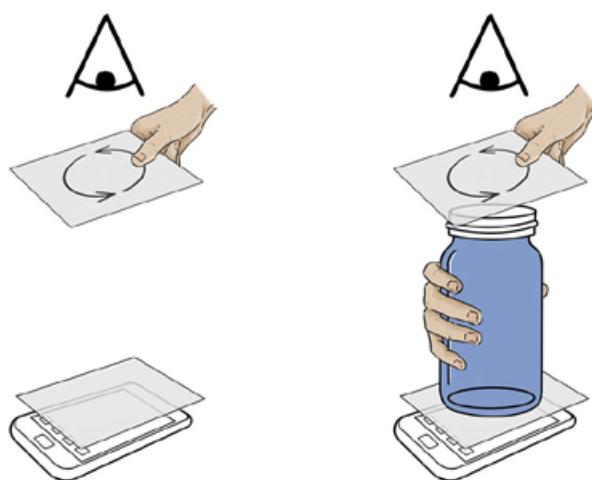


FIGURA 4. Disposición idónea de los elementos para la reconstrucción del sacarímetro, alineados en el eje vertical. A la izquierda, el calibrado, realizado sin interponer ninguna muestra y girando el analizador hasta alcanzar la extinción de la luz. A la derecha, la medida, colocando la muestra y, partiendo de la posición anterior, girando el analizador hasta alcanzar de nuevo la extinción.

FUENTE: elaboración de Ainoa Vigil Llaó.

El desarrollo de la experiencia depende de cada grupo, de su formación, de su edad, de la hora del día y del día de la semana. Pero hay una serie de elementos que se repiten en la mayoría de las ediciones. La más importante es la incapacidad de alcanzar el resultado final siguiendo únicamente las instrucciones dadas en la carta. A pesar de que esta es rigurosa y suficiente para realizar la reconstrucción, no informa de algunos elementos que resultan muy convenientes, o directamente necesarios, para realizar la reconstrucción. Es habitual, por ejemplo, que los estudiantes intenten realizar la medición en el eje horizontal, lo cual es inconveniente por motivos posturales y por realizar la luz poco recorrido en la disolución. Para alcanzar la disposición óptima ha de ocurrírseles abrir el bote de cristal, algo que no siempre ocurre sin asistencia del docente.

Las dificultades en la replicación permitirán abordar en la tercera parte un elemento de la actividad científica en particular: el conocimiento tácito. Existe un cierto tipo de conocimiento

difícilmente transmisible a través de textos escritos y es habitual que la replicación experimental se vea dificultada por la limitación de los textos. Los estudiantes lo experimentan en sus propias carnes: precisan realizar manipulaciones con los materiales para conseguir la disposición más apropiada, probar y proponer cosas que no se encuentran explícitamente en el texto. Una vez conseguida —a menudo de forma colectiva, apoyándose en los avances de los diferentes grupos— comprueban que, en efecto, el texto contenía la información de forma rigurosa, pero que, sin embargo, no era suficiente. Todo ello permite reflexionar sobre la complejidad y las limitaciones de la replicación como parte del proceso de construcción de conocimiento.

El sistema propuesto es enormemente imperfecto. No permite realizar mediciones precisas y sin más acciones de calibrado tampoco permite determinar cuantitativamente la concentración de sacarosa. La cuestión de la precisión puede ser también tratada en la tercera parte y conectarla con la cuestión de la creación de estándares, en la que científicos, reguladores e industria deben alcanzar un consenso sobre qué instrumento o método es lo suficientemente preciso y reproducible.

En ocasiones, algunos participantes se sienten bloqueados, incapaces de avanzar y pueden llegar a desmotivarse. En este sentido, es crucial que el docente desarrolle un papel de guía, proporcionando pistas que permitan avanzar a los diferentes grupos hacia la configuración final. Una buena forma es notificar a todos los participantes cuando algún grupo realiza un avance significativo.

### **Tercera parte: discusión**

La tercera parte es la que cuenta con mayores opciones. Consiste en la explicación y discusión conjunta de algunos elementos de la práctica científica puestos en evidencia en el desarrollo del taller. Así, las características del propio taller nos servirán para abordar las características de la ciencia. A la discusión sobre el conocimiento tácito se le pueden sumar otras ya citadas: la relación entre la ciencia y la industria, que es parte fundamental en la historia del sacarímetro; la carta como medio de comunicación científico; el sesgo de clase y de género en la práctica científica...

Todo ello puede alargarse lo que el docente considere pertinente, haciendo uso de los recursos que considere oportunos y sumando las actividades que juzgue útiles para afianzar los conceptos abordados. En nuestro caso, optamos por la explicación del concepto de conocimiento tácito, permitiendo, e impulsando, la participación de los estudiantes en la discusión, para que den su punto de vista y expliquen las dificultades encontradas. Asimismo, también se explica la historia del sacarímetro y su importancia en la industria. A menudo, las preguntas de los propios alumnos dan pie a abordar otros elementos de los mencionados en la anterior sección.

Es evidente que los conocimientos del docente respecto de las referidas cuestiones de la NOS jugarán un papel importante, por lo que se priorizarán algunos contenidos sobre otros. En este sentido, se recomienda la lectura de la bibliografía citada.

### **Cuarta parte: encuentro con el objeto**

La última parte del taller consiste en el encuentro con el instrumento patrimonial de la colección. La experiencia museística será particular de cada institución y espacio expositivo, pero la ejecución previa del taller es capaz de potenciarla. Es habitual que, al visualizar el instrumento en la exposición, los estudiantes manifiesten cierta emoción por reconocerlo al instante. El encuentro con el objeto es ahora más significativo de lo que hubiese sido sin la realización del taller, debido al mutismo propio del instrumental científico, que dificulta a menudo la interacción con el objeto.

El haber desarrollado una experiencia previa sobre el instrumento enriquece, a nuestro juicio, lo que Söderqvist, Bencard y Mordhorst llaman el *presence effect* del objeto, esto es, la reacción inmediata producida por la presencia del mismo (Söderqvist *et al.*, 2009). Ese efecto, mediado por los sentidos y previo a cualquier conceptualización lingüística, es propio de cada visitante, que se apropiará del aparato de un modo personal y único. En este sentido, no es preciso dotar de significado al aparato en el propio espacio expositivo, más allá de una información contextual mínima (datación y procedencia). Conviene permitir que los estudiantes, ahora visitantes, interactúen con el objeto del modo que prefieran y hagan las preguntas, si así lo consideran, que deseen. Los pasos previos del taller deben potenciar la experiencia museística, pero siendo esta independiente y en la cual el protagonista es el aparato, no las interpretaciones científicas, culturales, sociales, económicas y políticas que sobre él se puedan desplegar.

### **Comentarios finales**

Con este artículo hemos intentado proporcionar una herramienta útil para el profesorado universitario y de secundaria para la integración de colecciones históricas en la práctica educativa. Nuestra experiencia muestra que es posible crear acciones educativas a partir de instrumental histórico que incluya como parte esencial de las mismas la perspectiva de la NOS.

Más allá de la posible replicación de este mismo taller, creemos que podría servir de ejemplo para la construcción de acciones didácticas similares, que aúnen ciencias y humanidades en un mismo espacio. Las colecciones históricas ofrecen una gran oportunidad para ello, a través de la replicación experimental u otras dinámicas. La conservación y puesta en valor de este patrimonio pasa, en buena medida, por ello.

## Bibliografía

- ALBERTI, Samuel. (2017). «Why Collect Science?». *Journal of Conservation and Museum Studies*, 15 (1), p. 1-10.
- ALCHIN, Douglas (2013). *Teaching the Nature of Science: Perspectives & Resources*. Saint Paul: SHiPS Education Press.
- BERTOMEU SÁNCHEZ, José Ramón; GARCÍA BELMAR, Antonio (2002). *Abriendo las cajas negras: Colección de instrumentos científicos de la Universitat de València*. València: Universitat de València.
- BRENNI, Paolo (2021). «Filming Nineteenth Century Physics Demonstrations with Historical Instruments». En: CAVICCHI, Elizabeth; HEERING, Peter. (ed.). *Historical Scientific Instruments in Contemporary Education*. Leiden: Brill, p. 34-49.
- BUCCHI, Massimiano (2009). *Beyond Technocracy: Science, Politics and Citizens*. New York: Springer.
- BUIGNET, Henri (1887). *Manipulaciones de Física, curso de trabajos prácticos ejecutados en la escuela superior de farmacia de París*. Traducción de Francisco Angulo y Suero. Madrid: administración de la revista de medicina y cirugía prácticas.
- CAVICCHI, Elizabeth Y HEERING, Peter (ed.) (2022). *Historical Scientific Instruments in Contemporary Education*. Leiden: Brill.
- CONANT, James Bryant (1957). *Harvard Case Histories In Experimental Science*. Harvard: Harvard University Press.
- DEL EGIDO RODRÍGUEZ, Ángeles (2000). *Instrumentos científicos para la enseñanza de la física: Estudio realizado por el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología de la colección histórica de instrumentos científicos de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Subdirección General de Información y Publicaciones.
- JOHNSTON, Sean F. (1998). «Polarimeter, Chemical». En Bud, R.; WARNER, J. D. *Instruments of Science, an historical encyclopedia*. New York: Science Museum, London, y National Museum of American History, Smithsonian Institution, en asociación con Garland Publishing.
- LEDERMAN, Norm G.; ABD-EL-KHALICK, Fouad; BELL, Randy L.; SCHWARTZ, Renée S. (2002). «Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science». *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (6), p. 497-521.
- LOURENÇO, Marta C. (2005). *Between two worlds: The distinct nature and contemporary significance of university museums and collections in Europe*. París: Conservatoire national des arts et métiers, École doctorale technologique et professionnelle.
- LOURENÇO, Marta C.; WILSON, Lydia (2013). «Scientific heritage: Reflections on its nature and new approaches to preservation, study and access». *Studies in History and Philosophy of Science*, 44 (4), p. 744-753.
- MATTHEWS, Michael R. (2015). *Science teaching: The contribution of history and philosophy of science*, 20th anniversary revised and expanded edition. 2<sup>a</sup> ed. New York: Routledge.
- McCOMAS, William F.; CLOUGH, Michael P. (2020). «Nature of Science in Science Instruction: Meaning, Advocacy, Rationales, and Recommendations». En: McCOMAS, William F. (ed.), *Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies*. Cham: Springer International Publishing, p. 3-22.
- PRESTES, María Elice de Brzezinski; SILVA, Cibelle Celestino (ed.) (2018). *Teaching Science with Context: Historical, Philosophical, and Sociological Approaches*. Cham: Springer International Publishing.
- SIMPSON, Andrew (2014). «Rethinking university museums: Material collections and the changing world of higher education». *Museums Australia Magazine*, 22, p. 18-22.
- SINGERMAN, David (2007). «"A doubt is at best an unsafe standard": Measuring sugar in the early Bureau of Standards». *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 112 (1), p. 53-66.
- SISTO EDREIRA, Rafael Carlos; LOSADA SANMARTÍN, María Luisa (2009). *Historia da Física na Universidade de Santiago de Compostela*. Santiago de Compostela: Universidade de Santiago de Compostela, Servizo de Publicacións e Intercambio Científico.

- SÖDERQVIST, Thomas; BENCARD, Adam; MORDHORST, Camilla (2009). «Between meaning culture and presence effects: Contemporary biomedical objects as a challenge to museums». *Studies in History and Philosophy of Science*, 40 (4), p. 431-438.
- SUAY-MATALLANA, Ignacio; BERTOMEU SÁNCHEZ, José Ramón (2016). «François Bienvenu y la popularización científica en la Ilustración: Demostraciones experimentales, entretenimiento y públicos de la ciencia».
- Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas, 34 (2), p. 167-184.
- VALLMITJANA I RICO, Santiago (2011). Instrumentos científicos: Catálogo de la Facultad de Física de la Universidad de Barcelona. Barcelona: Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona.
- V.AA. (2008). Inventario de instrumentos científicos y técnicos del patrimonio de la Universidad de Granada. Granada: Universidad de Granada.