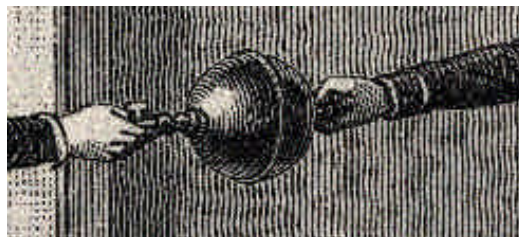


# ABRIENDO LAS CAJAS NEGRAS

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS DE LA  
UNIVERSIDAD DE VALENCIA



GUÍA DIDÁCTICA DE LA EXPOSICION

**José Ramón Bertomeu Sánchez**

**Antonio García Belmar**

Valencia, 2002

## **GUIA DIDÁCTICA : "ABRIENDO LAS CAJAS NEGRAS": Instrumentos científicos de la Universidad de Valencia"**

*¿Qué es una "caja negra"?*

Una *caja negra* es, según el Diccionario de la Real Academia Española, un "método de análisis de un sistema en el que únicamente se considera la relación entre las entradas o excitaciones y las salidas o respuestas, prescindiendo de su estructura interna". Esta expresión se emplea generalmente para hacer referencia a instrumentos científicos que son utilizados sin necesidad de conocer con detalle los procesos que ocurren en su interior. Los historiadores de la ciencia han ampliado este concepto para incluir no sólo objetos materiales sino también ideas y conceptos, de forma que por *cajas negras* se entienden toda una serie de herramientas intelectuales y materiales que los científicos consideran suficientemente fiables como para ser usadas en la exploración e interpretación de la naturaleza.

Tras ser objeto de polémicas, validaciones y consensos algunos instrumentos científicos adquieren esta condición, por lo que su funcionamiento interno y la fiabilidad de sus datos deja de ponerse en cuestión. Los resultados que se obtienen mediante su uso son considerados como datos científicos con valor universal. Las cajas se cierran y nadie se preocupa de lo que hay dentro, sólo de lo que de ellas sale.

*¿Qué significa "abrir las cajas negras" y cómo pueden ayudarnos a ello los instrumentos científicos antiguos?*

Las cajas raramente se reabren, a menos que surja una polémica en torno a su empleo. Cuando una parte de la comunidad científica o incluso de la sociedad pone en duda la seguridad de un procedimiento o las consecuencias que se extraen del mismo, resulta necesario reabrir las cajas negras para examinar y discutir sus entresijos. La discusión en esos momentos no se centra sólo en los principios físicos de su funcionamiento o en el mecanismo y el funcionamiento de los instrumentos que los aplican, sino también en otros aspectos de la práctica científica que quedan ocultos cuando el funcionamiento de una máquina o la aplicación de una técnica cuenta con el consenso total. Por ejemplo, la influencia de las condiciones de aplicación de la técnica, de la formación, experiencia y habilidades prácticas de los que la manipulan, el modo en que son interpretadas las señales emitidas por el instrumento, los intereses económicos e industriales escondidos detrás de la comercialización de un instrumento, las batallas de prestigio y reconocimiento intelectual asociados a la autoría de una determinada idea o técnica, etc.

*Abrir las cajas negras* supone, en este contexto, mostrar aspectos de la ciencia que, por lo general, permanecen ocultos y poner en entredicho acuerdos tácitos y convenciones que comúnmente se aceptan sin discusión. Un camino apropiado para lograr este fin es viajar a los primeros momentos de la vida de los instrumentos científicos, cuando todavía no habían sido aceptados por todos los científicos y sus resultados no eran aún considerados como universalmente válidos. Los instrumentos científicos del pasado son herramientas de gran valor para emprender ese viaje en el tiempo que nos transporta a los momentos en los que las cajas negras todavía no habían sido cerradas completamente. En esos momentos, los científicos argumentan a favor o en contra del uso del instrumento y se ven obligados a analizar sus mecanismos internos, discutir la fiabilidad de sus materiales, aclarar su fundamento teórico o solucionar los problemas asociados con su manejo. La historia de los instrumentos científicos ofrece, de este modo, una valiosa información para comprender mejor las características de estos objetos emblemáticos de la ciencia, los diversos usos para los que fueron y son empleados y las prácticas experimentales asociadas con ellos.

*Los usos didácticos de una colección de instrumentos científicos antiguos. Sugerencias e invitación para un proyecto de trabajo.*



Las más de mil doscientas piezas que componen en la actualidad la colección de instrumentos científicos de la Universidad de Valencia, a pesar de su enorme envergadura y valor, no son más que el magro vestigio del patrimonio científico que esta Universidad ha acumulado durante siglos y que en su mayor parte ha desaparecido. Esta es una situación que afecta a la mayor parte de las universidades, institutos de investigación y centros de enseñanza. Son muchos los factores que han contribuido a este hecho. Una de las razones hay que buscarla en la propia imagen que los científicos tienen de estos objetos. Los instrumentos científicos son concebidos como herramientas de trabajo que pierden todo su valor en el momento en que dejan de ser útiles para los fines con que fueron originalmente diseñadas. Un instrumento antiguo es, desde este punto de vista, un objeto obsoleto que simplemente hay que retirar o deshacerse de él.

Desde fechas muy recientes, numerosas universidades, museos y responsables del patrimonio histórico han comenzado a cambiar esta situación al plantearse la necesidad de integrar el patrimonio científico como parte del patrimonio histórico de una institución o incluso de una nación. Además de su valor histórico y patrimonial, los instrumentos científicos antiguos han mostrado tener una capacidad divulgativa mucho mayor de la que hasta ahora se había supuesto.

Por otra parte, numerosos historiadores de la ciencia y especialistas en didáctica de las ciencias han comenzado a reflexionar acerca de los usos didácticos que estos objetos pueden tener en el contexto de la enseñanza de las ciencias. Los instrumentos científicos del pasado informan mucho más directamente que la mayor parte de los instrumentos actuales acerca de los supuestos teóricos que están implicados en su concepción, diseño y uso. Se trata, como señalan algunos autores, de teoremas transformados en latón, vidrio o madera. Sus diseños y sus materiales dejan ver rápidamente las leyes físicas sobre las que se basa su funcionamiento. Este hecho abre una vía para reintegrar estos viejos objetos en la enseñanza actual de las ciencias y mostrar con ellos conceptos y aspectos de la investigación científica, los métodos y las prácticas experimentales ocultos en los equipos e instrumentos más modernos.

Se trata sin duda de un objetivo estimulante desde muchos aspectos. Además de las ventajas didácticas que acabamos de señalar, los instrumentos antiguos tienen un atractivo indudable que puede ser de gran utilidad para motivar a nuestros alumnos. Por otra parte, sólo investigando la utilidad real de estos objetos podemos garantizar su conservación en condiciones adecuadas. Pero estas ventajas no deben ocultar la dificultad de la tarea. Interpretar un instrumento antiguo o las prácticas experimentales asociadas a él en el pasado e integrarlo con rigor en el contexto de la enseñanza actual es todo un reto, que sólo podrá alcanzarse a través de proyectos de investigación histórica y didáctica en el que por fuerza deberán colaborar personas con formación muy diferente.

Esta guía es una invitación a emprender esta vía de trabajo. Está dirigida a los profesionales de la enseñanza, por supuesto de las ciencias, pero también de otros saberes como la historia, la filosofía o la filología que como tratamos de sugerir a través de las unidades de esta guía sin duda podrán encontrar en estos viejos instrumentos preguntas que tienen respuesta desde sus respectivas áreas de conocimiento. Una versión ampliada de ella, además de direcciones de contacto con nuestro equipo puede encontrarse en la página de Internet: <http://www.uv.es/~bertomeu/material/museo/instru/index.htm>.

Lo que aquí ofrecemos es una primera aproximación a este objetivo; una guía didáctica que agrupa una serie de propuestas abiertas e información adicional que pretenden ayudar a integrar la visita a la exposición dentro de un programa de estudio más amplio relacionado con diversos aspectos de la ciencia que se tratan en ella. Los textos que siguen deberán ser adaptados y modificados por los profesores de acuerdo con el plan de estudios y el nivel académico de los estudiantes así como con el momento del curso en el que se realice la visita y los objetivos perseguidos. Por supuesto, las cuestiones y las actividades sugeridas deben adaptarse a estas circunstancias y los conocimientos previos de los alumnos. Del mismo modo, puede resultar también conveniente que algunas actividades hayan sido realizadas antes de realizar la visita.

Además de esta guía y de los contenidos de la exposición, los profesores que lo deseen pueden solicitar copias del CD-ROM, que contiene el catálogo completo de los instrumentos de la colección de la Universidad de Valencia (también consultable en [www.uv.es/cultura](http://www.uv.es/cultura)), así como del libro que, bajo el mismo título que la exposición, recoge una amplia selección de estudios sobre la historia de los instrumentos científicos y sobre las iniciativas actuales para su recuperación, conservación y estudio.

# 1

## TEMA

# LOS MÉTODOS DE LA CIENCIA

Los instrumentos científicos permiten conocer mejor los métodos y las prácticas experimentales que dan lugar a la elaboración del conocimiento científico.

*SALAS DONDE SE DESARROLLA LA ACTIVIDAD: TODAS.*

Los científicos también distinguen entre datos recogidos mediante la **observación** y la **experimentación**. En el primer caso, el científico no controla las condiciones en las que se desarrolla el fenómeno estudiado mientras que, en el segundo, existe un control de las mismas. Tanto en un caso como en otro, resulta posible el empleo de instrumentos científicos. Por ejemplo, cuando un astrónomo contempla un eclipse mediante un telescopio está realizando una observación, del mismo modo que lo hace un médico que, mediante un termómetro, toma la temperatura corporal de un paciente que llega a su consulta. Se trata en estos casos de datos recogidos por observación. En los experimentos, el científico puede producir cuando desea el fenómeno estudiado, por ejemplo, una reacción de precipitación: es posible realizar una disolución de nitrato de plata y otra de cloruro de sodio y juntarlas cuando convenga para obtener el precipitado de cloruro de plata y estudiar su color, peso, etc. De este modo, el experimentador puede variar gradualmente las condiciones del fenómeno estudiado, de modo que, siguiendo el ejemplo anterior, se pueden seleccionar cantidades diferentes (por ejemplo de 1, 2, 3, 4 gramos) de ambos productos y comprobar la cantidad final formada de precipitado.

Definir lo que debe entenderse por "instrumento científico" no es una tarea fácil. Tal denominación sólo llegó a ser ampliamente utilizada durante el siglo XIX, al mismo tiempo que se difundía la palabra "científico" que popularizó William Whewell. En los siglos XVII y XVIII, los constructores de instrumentos solían diferenciar entre instrumentos matemáticos, ópticos y filosóficos, expresiones que sólo parcialmente hacen referencia a la noción moderna. A finales del siglo XIX, James Clerk Maxwell recordaba que un objeto se transforma en instrumento científico por el uso, es decir, adquiere tal condición por el hecho de ser empleado en una investigación científica. Suele también diferenciarse entre **instrumentos pasivos**, destinados a la observación y a la medición, e **instrumentos activos**, cuyo propósito es la creación de nuevos fenómenos en el laboratorio. Ejemplos de los primeros son los termómetros, galvanómetros, colorímetros y balanzas mientras que entre los segundos figuran los tubos de rayos catódicos, electroimanes o los aceleradores de partículas. Esta diferenciación no es absoluta y existen instrumentos que han pasado de ser considerados como activos a ser vistos como pasivos.

También pueden diferenciarse diversos tipos de instrumentos en función de los **públicos** a los que van dirigidos. Estos públicos pueden ser otros científicos, de una misma disciplina o de otras, o grupos externos a la comunidad científica, los cuales incluyen desde los estudiantes de diversos cursos científicos hasta todos los posibles destinatarios de las obras de divulgación científica o los industriales interesados en las



aplicaciones tecnológicas. Todo ello permite diferenciar entre instrumentos destinados a la investigación, a la docencia o a los usos industriales. En realidad, un mismo instrumento puede pasar de un contexto a otro sirviendo de este modo como “máquinas mediadoras” entre diversas disciplinas científicas o diferentes marcos en los que se desarrolla la ciencia. Por ejemplo, el polarímetro ha sido un instrumento empleado tanto en la investigación como para el control de calidad industrial del azúcar, por lo que una de sus variantes ha sido conocido como "sacarímetro".

Para que los instrumentos puedan servir a estos fines resulta necesario que las comunidades científicas los acepten como medios seguros para realizar investigaciones en las áreas correspondientes. Muchos trabajos publicados en las últimas décadas han estado dedicados a mostrar que este proceso de aceptación es mucho más complejo de lo que tradicionalmente se había pensado. Parte de la dificultad para tal estudio reside en que los instrumentos son presentados en los artículos científicos como herramientas no problemáticas que permiten mejorar la investigación de la naturaleza, sin hacer explícitas todas las suposiciones teóricas que son asumidas en su uso. Algunos historiadores como Simon Schaffer denominan "transparencia" a la cualidad que adquieren los instrumentos cuando son aceptados como seguros transmisores de información acerca de la naturaleza. Otros autores, como Trevor Pinch o Bruno Latour, han preferido emplear una versión ampliada del concepto de "**caja negra**" para referirse a esta característica. Con esta expresión se suele hacer referencia habitualmente a los instrumentos que realizan ciertas funciones, por ejemplo, la toma de datos empíricos, sin que se conozca exactamente su modo de funcionamiento interno. En la actualidad, los historiadores han ampliado esta noción para incluir dentro de ella no sólo objetos materiales sino también conceptos teóricos que también pueden ser transformados en cajas negras. Cuando esto ocurre, los instrumentos y los conceptos científicos adquieren la confianza suficiente para ser empleados por las comunidades científicas sin necesidad de que su funcionamiento o su significado sea totalmente entendido.

Toda recogida de datos presenta un **error experimental** que debe ser conocido. Los investigadores tratan de reducirlos pero nunca se pueden eliminar del todo. Por ello, es necesario estimar su magnitud, lo que ha producido el desarrollo de una gran cantidad de estudios sobre la teoría de errores, que deben ser tenidos en cuenta cuando se realiza una investigación. En muchos casos, la estimación del error sólo puede realizarse de modo estadístico, y son necesarias muchas consideraciones y suposiciones para ofrecer un resultado final que resulte válido. En otros casos, se emplean diversas técnicas para separar la señal estudiada del “ruido” producido por el instrumento, que, en ocasiones, puede ser de la misma magnitud que el fenómeno analizado.

## ACTIVIDADES - TEMA 1

1.1 Imagina una investigación científica en la que se emplee un instrumento científico de la exposición para recoger datos por observación. Realiza esta misma actividad para el caso de la experimentación.

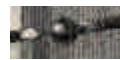
1.2. Señala ejemplos de "instrumentos activos" e "instrumentos pasivos" de la exposición.

1.3. Indica ejemplos de las unidades de medida que emplean algunos instrumentos de la exposición. Señala aquéllas que pertenecen al Sistema Internacional de Unidades y aquéllas otras que no.

1.4. Indica ejemplos de escalas utilizadas para medir la temperatura que aparecen en los instrumentos y en los paneles de la exposición. ¿Qué escala se emplea principalmente en nuestro país? ¿Qué escala se utiliza en EE.UU.? Explica el procedimiento para pasar de una escala a otra.

1.5. Indica el error experimental asociado con las medidas de uno de los instrumentos de la exposición, por ejemplo, del termómetro de pared que aparece en la sala Thesaurus.

1.6. Busca ejemplos de instrumentos que hayan sido empleados tanto en la investigación científica como en la industria.



# 2

## TEMA

# EL NOMBRE DE LOS INSTRUMENTOS

Los nombres de los instrumentos contienen mucha información sobre las prácticas experimentales asociadas con ellos. Permiten también conocer algunas características de la terminología científica.

SALAS DONDE SE DESARROLLA LA ACTIVIDAD: Todas.

La gran cantidad de objetos, conceptos y prácticas asociadas con la ciencia ha hecho necesario crear un vocabulario particular para nombrarlos. Se conocen, por ejemplo, más de veinte millones de compuestos químicos conocidos, un formidable conjunto que crece a razón de más de un millón cada año. La base de datos SIMBAD contenía en 1995 más de un millón de objetos astronómicos y sólo entre 1989 y 1992, al misión espacial Hipparcos, de la Agencia Espacial Europea, pudo estudiar 118.000 estrellas previamente seleccionadas. El número de publicaciones científicas es también muy elevado: entre 1969 y la actualidad, la revista Biological Abstracts ha recogido alrededor de cinco millones de publicaciones de biología mientras que la obra equivalente en el campo de la química contiene ya más de siete millones de referencias relacionadas con la ingeniería, cinco millones y medio dedicados a la química general y dos millones de referencias de una disciplina tan reciente como la ciencia de materiales, que apenas cuenta con unas decenas de años de existencia. Es evidente que toda esta gran cantidad requiere un número muy elevado de expresiones para poder ser transmitida. Este conjunto de expresiones empleadas por la comunidad científica se denominan terminología científica y presentan unas características particulares que las diferencian del resto de palabras del idioma. Los nombres de los instrumentos de la exposición permiten observar algunas las peculiaridades de la terminología científica.

Buena parte de los términos científicos son fácilmente reconocibles por el hablante de una lengua, aunque no tenga conocimientos científicos. Expresiones como "hipermetropía", "tetraoxosulfato (VI) de cobre (II)" o "otorrinolaringólogo" aparecen claramente diferenciadas del resto de palabras utilizadas en una conversación común, en una carta amistosa o en una noticia de sucesos. Muchas de estas expresiones son el resultado de la unión de un conjunto reducido de raíces, prefijos y sufijos de origen grecolatino. Por ejemplo, la palabra "hiperglucemia" está formada por los elementos "hiper", "gluc", "em" e "ia". El prefijo "hiper" significa "por encima de", "gluc" significa dulce o azúcar, mientras que "em" procede de la palabra griega que significa sangre y el sufijo "ia" se emplea en este caso para designar una enfermedad. Sumados los significados de todos estos elementos, resulta fácil conocer que esta palabra significa "enfermedad caracterizada por un elevado nivel de azúcar en la sangre". Con estos datos, resulta sencillo saber el significado de "hipoglucemia": sólo es necesario tener en cuenta que "hipo" significa "por debajo de". Del mismo modo, conociendo un reducido número de raíces,

prefijos y sufijos, resulta posible intuir el nombre de un gran número de términos científicos, sin necesidad, en muchas ocasiones, de recurrir al diccionario.

También existen dentro del lenguaje científico un buen número de expresiones basadas en nombres de persona (epónimos). En algunos casos, se trata de sintagmas que indican el nombre del descubridor: "ley de Newton", "principio de Heisenberg" o "prisma de Nicol". Es también habitual que los nombres de los científicos se transformen en raíces de palabras que pueden ser modificadas mediante derivación para dar lugar a un gran número de expresiones: pasteurizar, pasteurización, pasteurizado - todas estas palabras proceden del nombre del científico francés Louis Pasteur. Una situación semejante se produce en el caso de expresiones relacionadas con la electricidad como "amperio", "voltio", "ohmio" o "faradio", (Ampère, Volta, Ohm, Faraday) donde resulta fácil identificar los nombres de los científicos a los que se hace referencia. Sin embargo, en otros casos, como "nicotina", "guillotina" o "morfina" es más complicado constatar que se trata de epónimos.

También son habituales en la terminología las siglas o acrónimos. Las primeras están formadas por las iniciales de varias palabras (RMN = Resonancia magnética nuclear o SIDA = Síndrome de inmunodeficiencia adquirida). Los acrónimos suelen contener varias partes de ciertas palabras: aldehído: alcohol + dehidrogenado.

## ACTIVIDADES - TEMA 2

2.1 Busca nombres de instrumentos que estén formados por varios prefijos, sufijos y raíces de origen grecolatino. Busca en un diccionario la etimología de esta palabra, el significado de cada morfema y su relación con el uso o la función del instrumento.

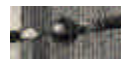
2.2. Busca nombres de instrumentos basados en nombres de personas (epónimos). Busca posteriormente el nombre del científico mencionado en una enciclopedia e indica datos de su biografía

2.3. Busca siglas o acrónimos que aparezcan en la exposición. Indica su significado mediante un diccionario.

2.4. Resuelve la siguiente sopa de letras donde se encuentran diez nombres de instrumentos de la exposición.

I	N	S	T	R	U	M	E	R	T	R	O	O	D	P
N	C	O	L	O	R	I	M	E	T	R	O	P	D	O
T	E	O	D	O	I	L	T	F	T	R	O	E	O	L
E	O	S	C	R	O	P	I	R	B	O	R	R	T	A
R	I	S	T	O	N	O	O	A	R	T	E	A	I	R
F	P	I	A	N	I	S	L	C	R	O	D	D	L	I
E	O	O	R	G	A	A	N	T	S	S	S	I	O	M
R	C	R	E	T	N	A	D	O	S	E	S	A	D	E
O	S	T	O	Z	A	F	F	M	S	S	L	T	O	T
M	O	E	A	S	E	R	U	E	S	S	S	E	E	R
E	R	M	O	R	F	E	M	T	E	M	M	A	T	O
T	C	O	C	R	O	I	C	R	O	M	M	A	R	T
R	I	R	O	M	A	N	T	O	R	I	M	O	R	F
O	M	A	Q	U	I	N	A	D	E	M	O	R	I	N
A	M	B	A	R	I	T	O	N	O	V	O	L	T	I





# 3

## TEMA

# ESPECTROSCOPIOS

La espectroscopia es una técnica de análisis de la luz. El componente básico de estos instrumentos es un método para separar la las diferentes radiaciones que componen la luz, tal y como ocurre con las gotas de agua del arcoiris.

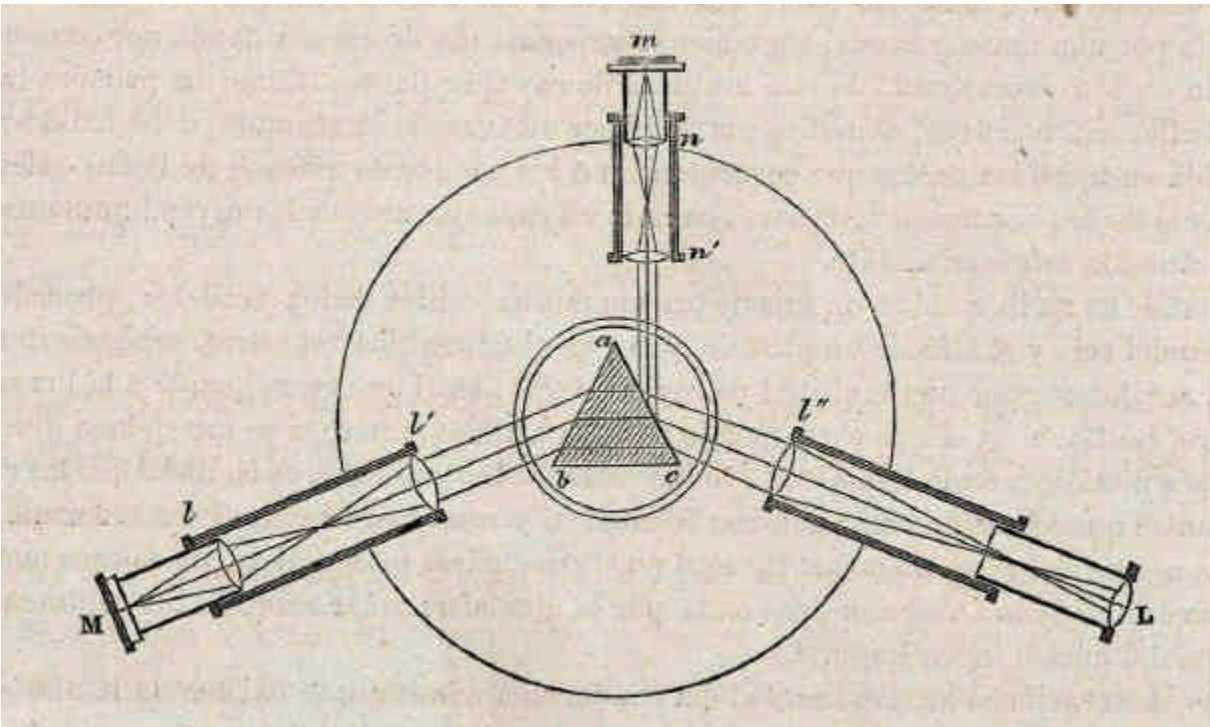
### SALAS DONDE SE DESARROLLA LA ACTIVIDAD:

Thesaurus, Duque de Calabria.

Los espectroscopios son instrumentos destinados al análisis de la luz. Con este análisis se puede obtener información sobre un gran número de fenómenos físicos o propiedades de los cuerpos, por lo que, en la actualidad se emplean en una gran diversidad de áreas, que incluyen desde la investigación teórica en química o física cuántica hasta la industria química o la medicina. También existen una gran diversidad de métodos y técnicas relacionadas con la espectroscopia y, como consecuencia de eso, un gran número de diseños de espectroscopios con características muy diferentes entre sí, de modo que resulta difícil reconocer la existencia de unos fundamentos teóricos comunes. Por el contrario, el fundamento de los primeros espectroscopios es muy sencillo de entender, se basaban en un proceso que separaba la luz blanca visible en sus diferentes colores. Un proceso natural en el que se da esta situación es el arco iris que aparece en momentos de lluvia con presencia de luz solar suficiente, de modo que las gotas de agua actúan como pequeños prismas que separan las diferentes radiaciones. Los primeros espectroscopios contenían prismas de vidrio para realizar esta dispersión de las radiaciones luminosas, gracias a los diversos ángulos de refracción que presentan los diferentes colores (o longitudes de onda) de la luz blanca. También se emplearon para este mismo objetivo redes de difracción, otro fenómeno que permite la separación de las radiaciones que forman la luz blanca.

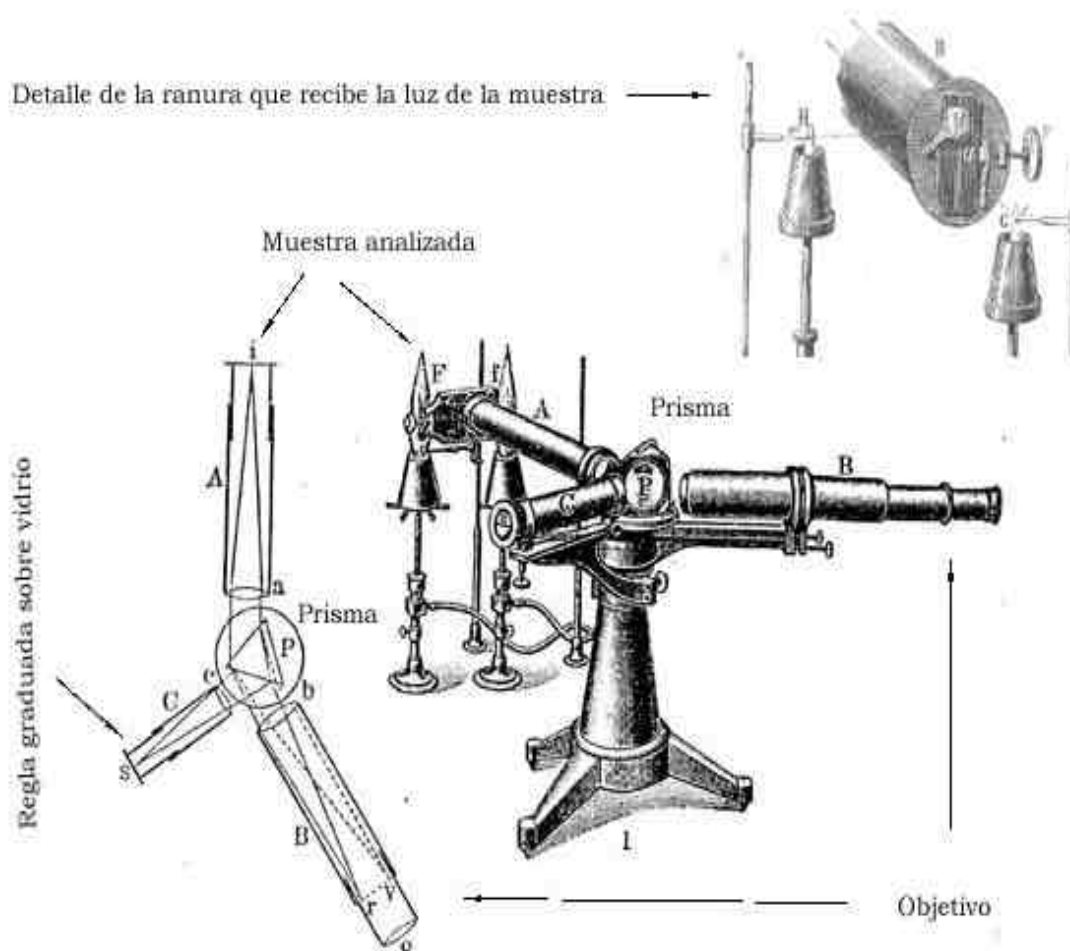
Se suele atribuir a los alemanes Robert Bunsen y Gustav Kirchhoff la creación del primer espectroscopio a mediados del siglo xix. En realidad, varios autores realizaron instrumentos semejantes en períodos anteriores, incluyendo, en algunos casos, propuestas para el empleo de los espectros en el análisis químico. A principios del siglo xix, Joseph von Fraunhofer (1787-1826) realizó importantes investigaciones sobre el espectro solar que le permitieron observar una serie de líneas negras que ahora llevan su nombre. Los estudios de Fraunhofer fueron el resultado de su interés por la obtención de luz homogénea para el correcto funcionamiento de sus instrumentos ópticos. También se impulsaron estudios sobre los espectros por parte de autores interesados en la nueva teoría ondulatoria de la luz o las propiedades de la chispa eléctrica. La aplicación de los espectros al análisis químico contó con algunos pioneros como William Talbot (1800-1877)

que, tras estudiar diversos espectros de llama, llegó a afirmar que "siempre que el prisma muestra que un rayo homogéneo de cualquier color existe en la llama, este rayo indica la formación o la presencia de un compuesto químico definido". Estos intentos pioneros, sin embargo, tuvieron una limitada aplicación debido a problemas teóricos y prácticos: muchos espectros de llama parecían más complejos de lo que inicialmente se había pensado y las líneas de Fraunhofer seguían sin contar con una explicación aceptable. En los años cincuenta, diversos factores confluyeron para que se multiplicaran los estudios sobre espectros, tales como los realizados por William Swan, profesor de la Scottish Naval and Military Academy, que le condujeron a constatar la gran sensibilidad del análisis espectral, que permitía detectar cantidades muy pequeñas de ciertos elementos como el sodio. Todo ello, le permitió explicar la presencia generalizada de la línea D del sodio y remarcar la necesidad de trabajar con grandes precauciones respecto a la pureza de las muestras y las llamas empleadas. El mechero introducido por Bunsen en esos años permitió solucionar algunos de estos problemas.



**Esquema de funcionamiento del espectroscopio de tres brazos:** El brazo de la derecha es el objetivo [L] y el de la izquierda [M] es el que conduce la luz emitida por la muestra hasta el prisma [abc] que produce la separación de los diversos colores. El tercer brazo, situado en el centro de la figura [m-n] contiene una escala graduada sobre vidrio, colocada de tal modo que su imagen se refleja sobre una de las caras del prisma [abc] del espectroscopio y se dirige hacia el objetivo [L]. De este modo, en el objetivo aparecen superpuestas dos imágenes, la escala graduada y la procedente de la muestra con las líneas espectrales características de la sustancia. Por ello, resulta posible calibrar el instrumento mediante líneas producidas por sustancias cuyo espectro es conocido. Utilizando varias sustancias de este tipo, se puede establecer una gráfica que relaciona la longitud de onda de la radiación emitida con la escala de la regla graduada del espectroscopio correspondiente. El brazo que recoge la luz de la muestra [M] contiene una rendija variable y un prisma, con lo que se pueden comparar simultáneamente la luz de dos muestras diferentes, de acuerdo con el esquema adjunto.

Gracias a este diseño, el observador puede contemplar superpuestas dos imágenes: una escala graduada y las líneas de colores características de la sustancia. Por ello, resulta posible calibrar el instrumento mediante líneas producidas por sustancias cuyo espectro es conocido. Utilizando varias sustancias de este tipo, se puede establecer una gráfica que relaciona la longitud de onda de la radiación emitida con la escala de la regla graduada del espectroscopio correspondiente



### ACTIVIDADES - TEMA 3

3.1. Conceptos previos que deben ser repasados: reflexión y refracción de la luz. ¿Por qué el prisma permite separar las diferentes radiaciones que forman la luz?

3.2. Los espectroscopios son utilizados en el análisis químico ¿por qué?

3.3. Discute cómo se puede calibrar un espectroscopio de tres brazos. ¿Qué aparatos son necesarios?

3.4. Busca en la exposición los espectros de algunos elementos y señala el color de sus líneas espectrales características.

3.5. Busca en un diccionario el origen de los nombres de los siguientes elementos: "cesio", "talio" y "rubidio". Indica la relación entre estos nombres y la espectroscopia.

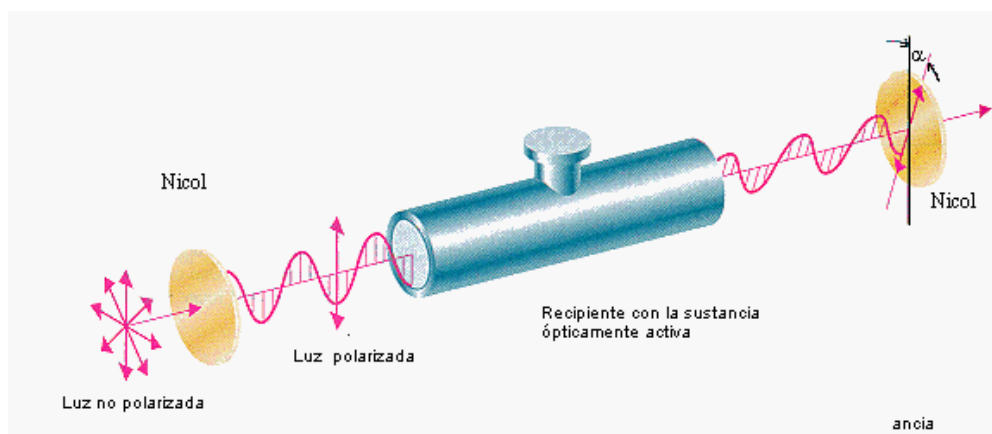
## TEMA

## POLARÍMETROS

Al contrario de lo que ocurre con algunos animales, el ojo humano no puede distinguir entre la luz polarizada y la no polarizada, por lo que el estudio de esta importante propiedad de la luz no se ha producido hasta fechas recientes. La luz polarizada puede ser definida como un conjunto de ondas luminosas que vibran todas ellas en un solo plano, mientras que en la luz no polarizada el plano de vibración varía rápidamente, a razón de cien millones de veces por segundo.

SALAS DONDE SE DESARROLLA LA ACTIVIDAD: Thesaurus.

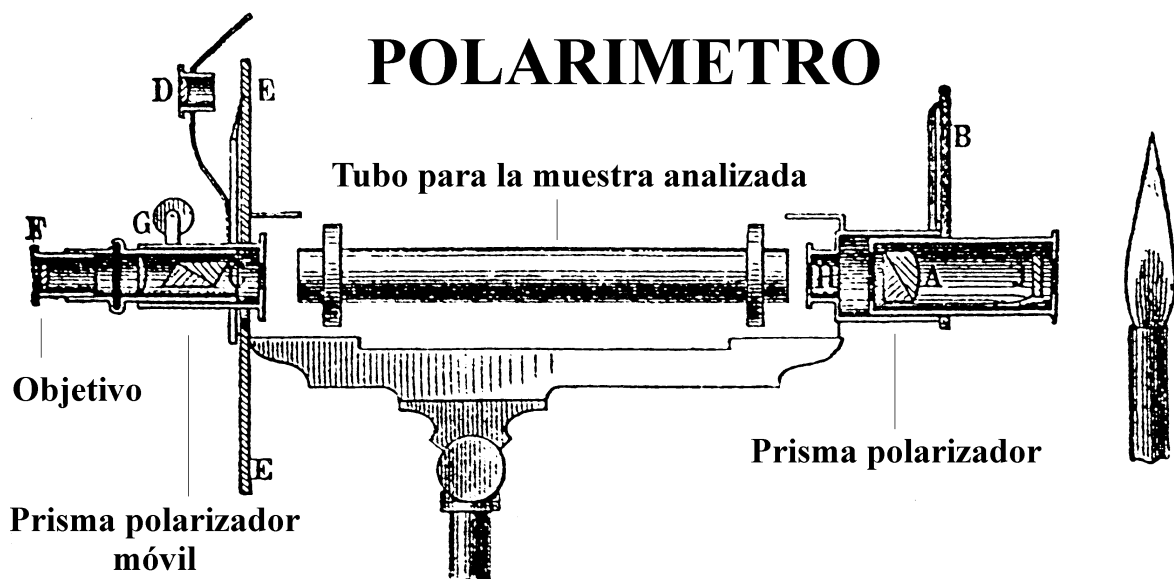
La luz es una radiación que presenta propiedades semejantes a las ondas mecánicas que se producen cuando se hace serpentear una cuerda cogida por dos extremos. Si no existe ningún impedimento -"si no está polarizada", se diría en el caso de la luz- la cuerda puede moverse en cualquier plano, es decir, puede adoptar una vibración perpendicular, paralela u oblicua al suelo, cambiando fácilmente de una situación a otra con un pequeño movimiento de los extremos de la cuerda. Si, por el contrario, la cuerda se mueve entre dos planchas metálicas perpendiculares al suelo y muy próximas, como aparece en la figura del panel, es evidente que sólo podrá vibrar en el plano perpendicular al suelo. En este caso, que corresponde a la luz polarizada, si se colocan dos nuevas planchas metálicas muy próximas pero paralelas al suelo, la vibración de la cuerda se hace imposible. Sólo podrá vibrar si las nuevas planchas se encuentran en la misma posición que las primeras, lo que en el caso de la figura supone que las dos planchas sean situadas en posición perpendicular al suelo. En el caso de la luz, como se verá más adelante, los prismas polarizadores (nícól) juegan el mismo papel que las planchas metálicas, es decir, cuando un rayo luminoso sólo puede ser observado a través de estos prismas si se encuentran en una posición adecuada uno respecto a otro.



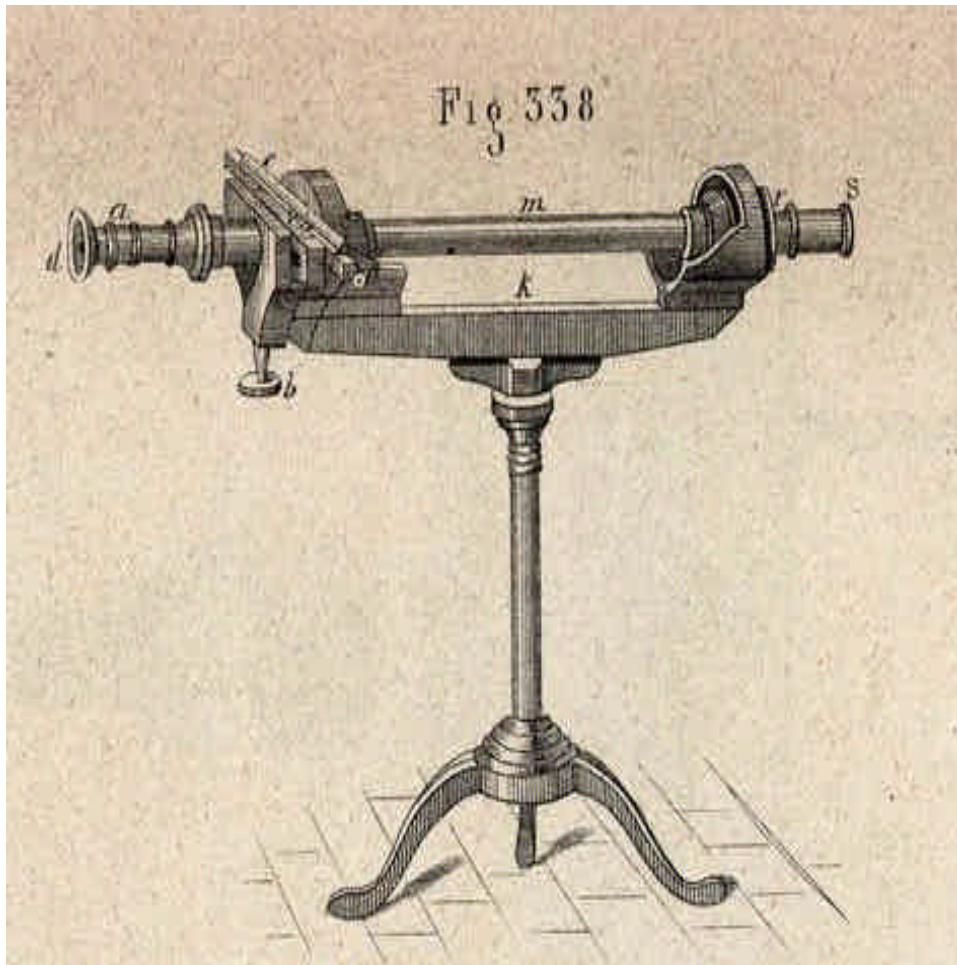


Un prisma nícol permite polarizar la luz en un determinado plano, de modo que, al pasar por un nuevo prisma de nícol, sólo se observa la intensidad luminosa inicial si éste último se encuentra en la misma posición que el primero. Si entre los dos prismas se coloca una sustancia ópticamente activa, el plano de la luz polarizada girará al pasar a través de esta sustancia y, por lo tanto, el segundo prisma deberá ser colocado en una posición ligeramente diferente al primero para observar luz. La diferencia entre la posición del primero y la del segundo indica el poder rotatorio de la muestra analizada y a partir de este valor se pueden calcular diversas características de la sustancia

En la exposición hay varios sacarímetros que funcionan mediante este principio. Estos instrumentos empleaban luz monocromática producida por la llama de un mechero Bunsen con una sustancia como, por ejemplo, el sodio. Esta luz es polarizada por un primer prisma de nícol (a) y pasa a través de un diafragma fijo (p), dividido en dos mitades, de las que una está recubierta por una lámina delgada de cuarzo (p), denominada de "semi-onda". De este modo, se producen dos haces de luz monocromática de igual intensidad que forman un ángulo determinado entre sí. Estos haces atraviesan la muestra, situada en la parte central, y llegan al segundo analizador (c) que se encuentra sobre el disco móvil. Este disco contiene una escala graduada que permite conocer los grados girados por el analizador en cada caso. A través del objetivo pueden observarse dos semicírculos que corresponden a cada uno de los dos rayos formados. Sólo en una determinada posición del analizador los dos semicírculos presentan la misma intensidad luminosa, lo que permite medir con precisión la variación del ángulo de polarización producida por una determinada muestra.





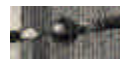


#### ACTIVIDADES - TEMA 4

4.1. Conceptos previos que deben repasarse: la polarización de la luz. Sustancias ópticamente activas. Señala algunos ejemplos.

4.2. Algunos polarímetros son conocidos con el nombre de "sacarímetros" ¿Por qué?

4.3. ¿Cómo se puede utilizar un polarímetro de los que aparecen en la exposición para conocer la composición de una muestra?



# 5

## TEMA

# ÁCIDOS Y BASES: pH-METROS

Los pH-metros figuran entre los instrumentos más importantes de un laboratorio químico moderno y están destinados a medir una característica que presenta gran interés para estimar el carácter ácido o básico de una sustancia: el pH.

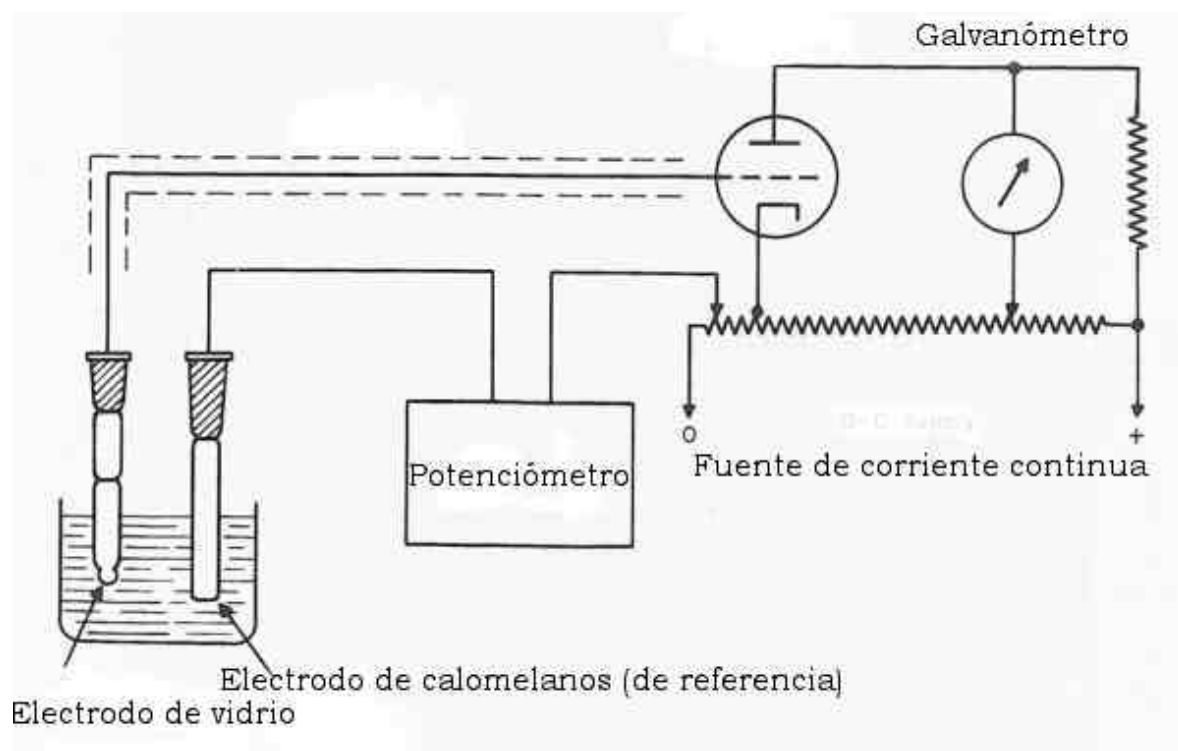
SALAS DONDE SE DESARROLLA LA ACTIVIDAD: Thesaurus.

Aunque el concepto de pH no fue introducido hasta principios del siglo XX, la división entre sustancias ácidas y sustancias básicas o álcalis es una de las clasificaciones más antiguas de la historia de la química. Por ejemplo, el vinagre o el jugo del limón son sustancias típicamente ácidas, que pueden ser fácilmente reconocidas por su sabor o algunas reacciones características, mientras que la sosa o el amoníaco son álcalis o sustancias básicas. En general, si se mezcla una sustancia básica junto con otra ácida reaccionan vigorosamente, a menudo produciendo efervescencias o emisión de calor. Todo ello explica que estas reacciones atrajeran pronto la atención de los estudiosos de la química que establecieron diversos procedimientos para investigar el carácter ácido o básico de una sustancia, junto con múltiples interpretaciones teóricas sobre el origen de estas propiedades. Además del sabor, uno de los primeros métodos empleados para determinar la acidez o basicidad de las sustancias fueron diversos productos de origen vegetal que tienen la propiedad de variar su color según la acidez o la basicidad del medio en el que se encuentran. El tornasol, por ejemplo, es un material que se obtiene de ciertos líquenes y que tiene la propiedad de producir disoluciones coloreadas de rojo en medios ácidos y de color azul en medios básicos. De este modo, si se añade un poco de tornasol a una recipiente con zumo de limón, se observará un color rojo pero, si a esta disolución se añade un álcali como la sosa, llegará un momento en el que el color de la misma cambiará y pasará a ser azul. En la actualidad se conocen una gran cantidad de sustancias como el tornasol, incluyendo muchas de origen artificial, y se denominan "indicadores de pH".

El concepto de "pH" fue introducido muy posteriormente al uso de estas sustancias en las determinaciones analíticas. Este concepto está relacionado con la teoría iónica, defendida por Svante Arrhenius a finales del siglo XIX, que afirma que las sustancias como las sales se disocian en disolución en electrolitos de carga eléctrica opuesta. De acuerdo con esta idea, una disolución de sal común (cloruro sódico) en agua está formada por iones positivos -llamados "cationes"- de sodio e iones negativos -"aniones"- de cloro. A principios del siglo XX, Soren Sørensen (1868-1939) introdujo la noción de pH como una función logarítmica relacionada con la concentración de cationes de hidrógeno (H<sup>+</sup>):

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

El pH es, por lo tanto, una medida de la concentración de ciertos iones de una disolución, en concreto, de los cationes de hidrógeno. Su valor se calcula mediante la fórmula  $-\log [H^+]$ . Cuando el valor del pH es 7, la disolución es neutra, si es inferior a 7, ácida y cuando es mayor a 7, básica. El pHmetro mide este valor mediante diversos métodos. El más usual consiste en una pieza (electrodo) que presenta la propiedad de variar sus propiedades eléctricas (su fuerza electromotriz) en función de la concentraciones de estos cationes de hidrógeno  $[H^+]$ . Si se conecta este electrodo a un aparato medidor de esta fuerza electromotriz o a un circuito eléctrico resulta posible conocer indirectamente la concentración de cationes de hidrogeno y, por lo tanto, el pH.







## ACTIVIDADES - TEMA 5

5.1. Conceptos previos que deben repasarse: Disoluciones químicas. Iones. Aniones y cationes. El pH.

5.2. Señala sustancias básicas y sustancias ácidas. ¿Qué valores aproximados ofrecerían estas sustancias en el pH-metro?



5.3. Observa el documental sobre la vida de Arnold Beckman que se encuentra junto a los pH-metros. Indica las razones que condujeron a este conocido fabricante a desarrollar sus pH-metros. ¿En qué proyectos trabajó durante la Segunda Guerra Mundial?



**Arnold Beckman (1902-)**

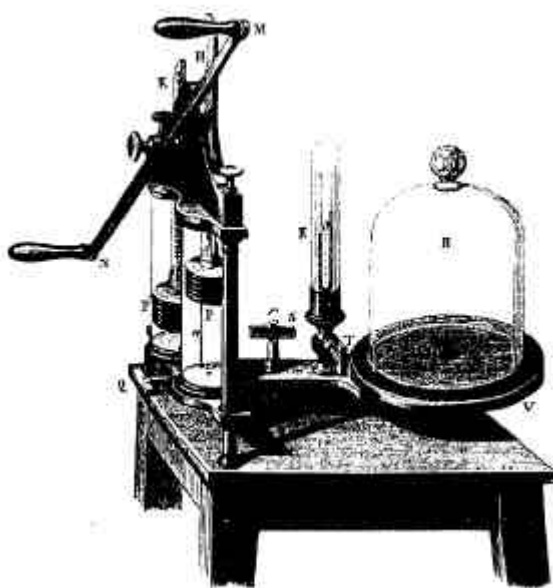
## TEMA

## LA FABRICACIÓN DEL VACÍO

La existencia del vacío, la posibilidad de concebir un espacio carente de materia, ha sido durante siglos una cuestión de intenso debate. Posible y racional para unos, absurdo e inconcebible para otros, el debate acerca de la existencia del vacío se avivó y cambió radicalmente cuando los filósofos naturales del siglo XVII se presentaron con sus “máquinas neumáticas” y trataron de convencer a sus contemporáneos de que con ellas era posible fabricar el vacío.

SALAS DONDE SE DESARROLLA LA ACTIVIDAD:

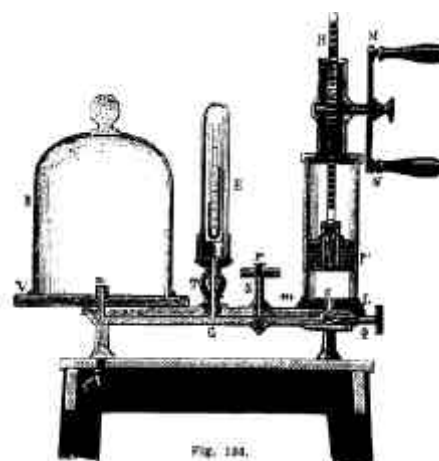
Instrumentos para la enseñanza. Sala Exposiciones Temporales.



Las “máquinas neumáticas” fueron uno de los instrumentos emblemáticos de la Revolución científica. Dentro de una tradición de estudios sobre las propiedades físicas del aire y los efectos de la presión atmosférica, los filósofos naturales con la ayuda de artesanos idearon a lo largo del siglo XVII toda una serie de instrumentos, los barómetros entre ellos, con los que exploraron los secretos de la física neumática. Un instrumento clave en estos estudios fue la máquina neumática, un artilugio mecánico con el que los filósofos naturales decían ser capaces de extraer todo el aire contenido en un recipiente y de este modo fabricar nada más y nada menos que el “el vacío”, algo que era considerando como absurdo e inconcebible en la física aristotélica aceptada y enseñada en las universidades europeas de la época.



En los escritos de autores como Robert Boyle (1627-1691) y Otto von Guericke (1602-1686) podemos encontrar descripciones de las experiencias que desde el siglo XVII se realizaron con máquinas neumáticas no muy diferentes a la que se puede contemplar en la exposición. Se comprobó que en el interior de un recipiente en el que se había realizado el vacío ocurrían cosas tan sorprendentes como que una vela se apagaba al cabo de unos segundos y un animal moría rápidamente; que un globo cerrado y desinflado se hinchaba por sí solo; que los líquidos entraban de repente en ebullición sin que nada los calentara; que un cuero de plomo y otro de corcho caían a la misma velocidad; o que al agitar una campana en su interior no era posible escuchar su sonido. También se hizo muy famosa la experiencia de los *hemisferios de Magdeburgo*: cuando se hacía el vacío en el hueco que dejaban dos semiesferas unidas solo por contacto era necesario recurrir a una fuerza enorme para poderlas separar.



## ACTIVIDADES - TEMA 6

- 6.1.- ¿Por qué piensas que se llaman bombas “pneumáticas”? Utilizando diccionarios y obras de referencia trata de determinar el origen de este término.
- 6.2.- Con ayuda de un esquema del mecanismo de estos aparatos trata de explicar el modo en que se estas máquinas funcionaban y eran capaces de extraer el aire de un recipiente.
- 6.3.- Trata de explicar algunas de las experiencias que los filósofos naturales realizaron con la máquinas neumáticas.
- 6.4.- ¿Qué argumentos piensas que utilizaron los que en el siglo XVII siguieron pensando que no era el vacío, o al menos no el vacío absoluto, lo que esas máquinas producían?.
- 6.5.- Busca en una enciclopedia el nombre de los autores citados y amplía la información sobre sus trabajos acerca de las propiedades físicas del aire, de la presión atmosférica y del vacío ¿Qué relación tiene el barómetro y las máquinas neumáticas en estos estudios?

# 7

## TEMA

# LOS FABRICANTES DE INSTRUMENTOS

Los instrumentos científicos deben construirse con materiales adecuados y comercializados y distribuidos convenientemente para que lleguen a manos de sus destinatarios. La labor de los constructores y distribuidores de instrumentos resulta crucial para comprender las características de estas piezas

SALAS DONDE SE DESARROLLA LA ACTIVIDAD: Todas.

El famoso historiador francés Maurice Daumas afirmaba a mediados del siglo XX que "por mucho que el instrumento haya sido concebido sobre datos teóricos, su invención no pudo ser verdaderamente alcanzada hasta que un obrero consiguió darle su forma material. La importancia del trabajo manual en esta creación no puede ser subestimada". En efecto, la labor de los fabricantes de instrumentos resulta crucial para comprender las características de los objetos de esta exposición. Se trata, sin embargo, de personajes poco conocidos, a los que se han dedicado pocos estudios. Paolo Brenni, uno de los máximos especialistas en este tema afirma en el texto realizado para el catálogo que el papel de los fabricantes de instrumentos está "en gran parte por explorar", aunque reconoce que nuestro conocimiento es hoy "bastante menos nebuloso de lo que era tan sólo hace un par de décadas". Esta mejora se debe, en parte, a la información recogida en el proceso de catalogación de instrumentos de numerosas instituciones europeas, tal y como ha ocurrido en los últimos años en la Universitat de València.

La colección de la Universitat de València refleja algunos de los cambios que han ocurrido en la industria de la precisión entre la segunda mitad del siglo XIX y la primera mitad del siglo XX. En los primeros momentos, los constructores fueron artesanos dedicados a producir objetos de vidrio o de metal, que no eran siempre científicos. La consolidación del comercio de instrumentos durante el siglo XVIII y XIX condujo a la especialización y a la aparición de una auténtica industria de la precisión y, más adelante, con el desarrollo de la *big science* en el siglo XX, a importantes empresas que adquirieron prestigio en la fabricación de ciertos instrumentos. Algunas de ellas se especializaron en la venta de instrumentos para la enseñanza y, por ello, no es sorprendente su importante peso en una colección universitaria. A finales del siglo XX, la Universitat de València obtenía sus instrumentos a través de industrias asociadas a grandes multinacionales que, en muchos casos, contaban (o todavía cuentan) con un gran número de departamentos especializados, fruto de la fusión de varias empresas o la compra de varias industrias por una misma sociedad.

El catálogo de instrumentos ha permitido también obtener algunos datos sobre fabricantes valencianos de instrumentos científicos. Los dos autores más importantes representados en la colección son Juan Lubat y Agustín Molina Ibars. En los anuarios y las guías de Valencia de 1883 y 1885, Juan Lubat aparece mencionado como "óptico", con un taller situado en la calle Zaragoza. Quizás fue éste el origen de su negocio



que, más adelante, amplió a otros instrumentos de física y química, como aparece ya en las guías de 1891 y 1905. En una factura conservada en el archivo universitario, fechada en 1891, aparece como proveedor de varios instrumentos de electricidad, entre ellos un amperímetro, varias pilas de diversos tipos y dos pistoletas de Volta. Lubat era también distribuidor de los instrumentos Leybold a principios del siglo XX. Su muerte debió producirse alrededor de 1904 o 1905, porque, a partir de ese momento, la empresa pasó a denominarse “Viuda de Juan Lubat”.

Junto con Juan Lubat, Agustín Molina Ibars es el más importante constructor de instrumentos valencianos que ha sido identificado entre los aparatos conservados en la colección. En los anuarios de comercio y guías de Valencia de finales del siglo XIX y principios del siglo XX, Agustín Molina Ibars aparece como fabricante de “instrumentos de matemáticas y física”. El archivo de la universidad ofrece información de otros fabricantes, de los que no se han conservado instrumentos. Uno de ellos es Francisco Valero Mira, director de un “laboratorio químico farmacéutico” y proveedor de “productos para las artes y la fotografía, objetos de goma elástica y de gutapercha”, así como “utensilios de laboratorio” e “instrumentos de física”. También afirmaba en sus facturas que realizaba “comisiones para el extranjero”.

## ACTIVIDADES - TEMA 7

7.1. Señala el nombre de al menos un fabricante de instrumentos de los lugares que se indican a continuación. Indica los instrumentos realizados por este fabricante que aparecen en la exposición así como las fechas aproximadas en las que se realizaron.

LUGAR	FABRICANTE	FECHAS	INSTRUMENTOS
FRANCIA			
ALEMANIA			
ITALIA			
ESTADOS UNIDOS			
MADRID			
VALENCIA			

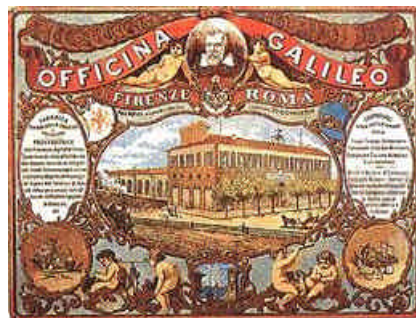
7.2. Busca en las facturas de la sala "Duque de Calabria" algunos datos sobre los proveedores y fabricantes de instrumentos de la colección de la Universitat de València entre finales del siglo XIX y el primer tercio del siglo XX.

7.3 Busca información en una enciclopedia sobre el ingeniero español Leonardo Torres Quevedo (1852-1936). El Instituto "Torres Quevedo" fue creado tras su muerte, poco después del fin de la Guerra Civil Española, dentro del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Indica algunos instrumentos fabricados por este centro que aparecen en la exposición.

7.4. Una de las principales casas de instrumentos astronómicos fue fundada en el siglo XIX en Dublín por Thomas Grubb (1800-1878) y continuada por su hijo Howard Grubb (1844-1931). Proveían de instrumentos astronómicos a ciudades como Melbourne, West Point, Postdam, New Haven (Yale University), México, Bombay Gottingen o Caracas, y también a Madrid y Valencia. Indica la principal pieza que existe de este fabricante en la Universitat de València y en qué fechas fue adquirida. ¿Quién era el director del Observatorio de la Universidad en esos momentos? Busca algunos datos sobre su biografía

7.5. Busca algunos nombres de fabricantes mencionados en la exposición en la siguiente sopa de letras

A	R	I	S	T	O	S	I	C	M
I	Z	E	I	S	S	I	H	O	A
B	E	C	K	M	A	N	C	B	X
G	I	L	L	P	R	I	S	O	
A	S	L	E	I	T	Z	U	S	K
L	S		Y	I	O	I	A	I	O
I			B	G	R	U	B	B	H
L	P		O	I	I				L
E	Y		L	L	U	B	A	T	
O	E		D	U	S	A	C	A	





# 8

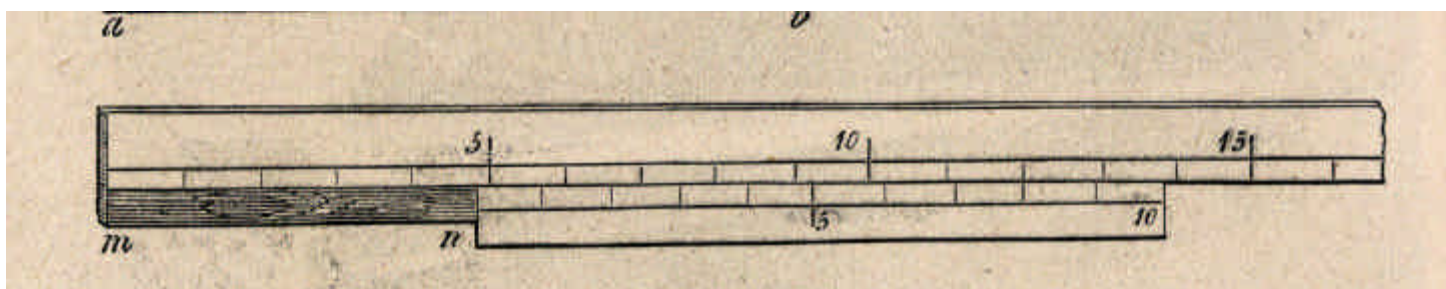
## TEMA

# MEJORAR LA PRECISIÓN: EL NONIUS

Muchos de los instrumentos de la exposición están equipados con un nonius, un sencillo dispositivo que permite mejorar la precisión de las mediciones mediante un ingenioso sistema.

SALAS DONDE SE DESARROLLA LA ACTIVIDAD: Thesaurus.

El nonius o vernier es un instrumento de precisión que permite calcular longitudes más pequeñas que las últimas divisiones de una regla. Consta de una regla grande (AB) graduada, por ejemplo, en cm y otra regla pequeña (ab) móvil, dividida en diez partes que corresponden a nueve partes de la regla grande. Para realizar la medición, se coloca el objeto (mn) en la posición indicada en la figura y se lee el valor alcanzado en la regla grande (AB), que en este caso es algo más de 4 cm. A continuación se busca el lugar en el que coinciden las divisiones de las dos escalas de las reglas. En el caso de la figura, la coincidencia se produce en el valor 8 de la regla pequeña y, por lo tanto, la medición de la longitud del objeto es a 4,8 cm. Se trata de un instrumento muy común en muchos instrumentos científicos.



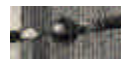
## ACTIVIDADES - TEMA 8

8.1. Explica por el funcionamiento del nonius. ¿Por qué se puede concluir que la pieza anterior (m-n) mide 4,8 cm ?

8.2. ¿En qué posición se encontraría una pieza que midiera el doble que la anterior? ¿Entre qué valores de la regla superior se encontraría? ¿En qué posición se encontraría la regla inferior? Repite las cuestiones para el caso de un objeto que mida la mitad del primero.







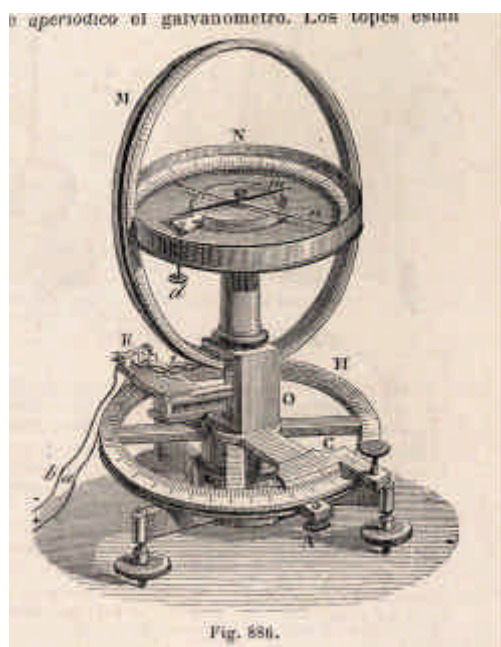
# 9

## TEMA

# ELECTRICIDAD

La medida de la electricidad y el magnetismo dio lugar a un buen número de instrumentos de precisión durante el siglo XIX. Su fundamento fueron los estudios de Oersted que mostraban que el paso de una corriente provocaba variaciones en la posición de piezas imantadas como la aguja de una brújula.

SALAS DONDE SE DESARROLLA LA ACTIVIDAD: Thesaurus.



Durante el siglo XIX, muchos de los galvanómetros estaban basados en 1.- un "sistema astático" que se basaba en un conjunto de dos agujas magnetizadas para eliminar la acción del campo magnético terrestre, de modo que la variación sólo era debida a la acción de la corriente medida 2.- un dispositivo "multiplicador" para aumentar el efecto de la corriente, por ejemplo, mediante un sistema de espiras y 3.- un hilo de suspensión en el que se encontraba la aguja indicadora. Todos estos elementos aparecen ya en uno de los primeros galvanómetros ideado por Nobili en 1825.

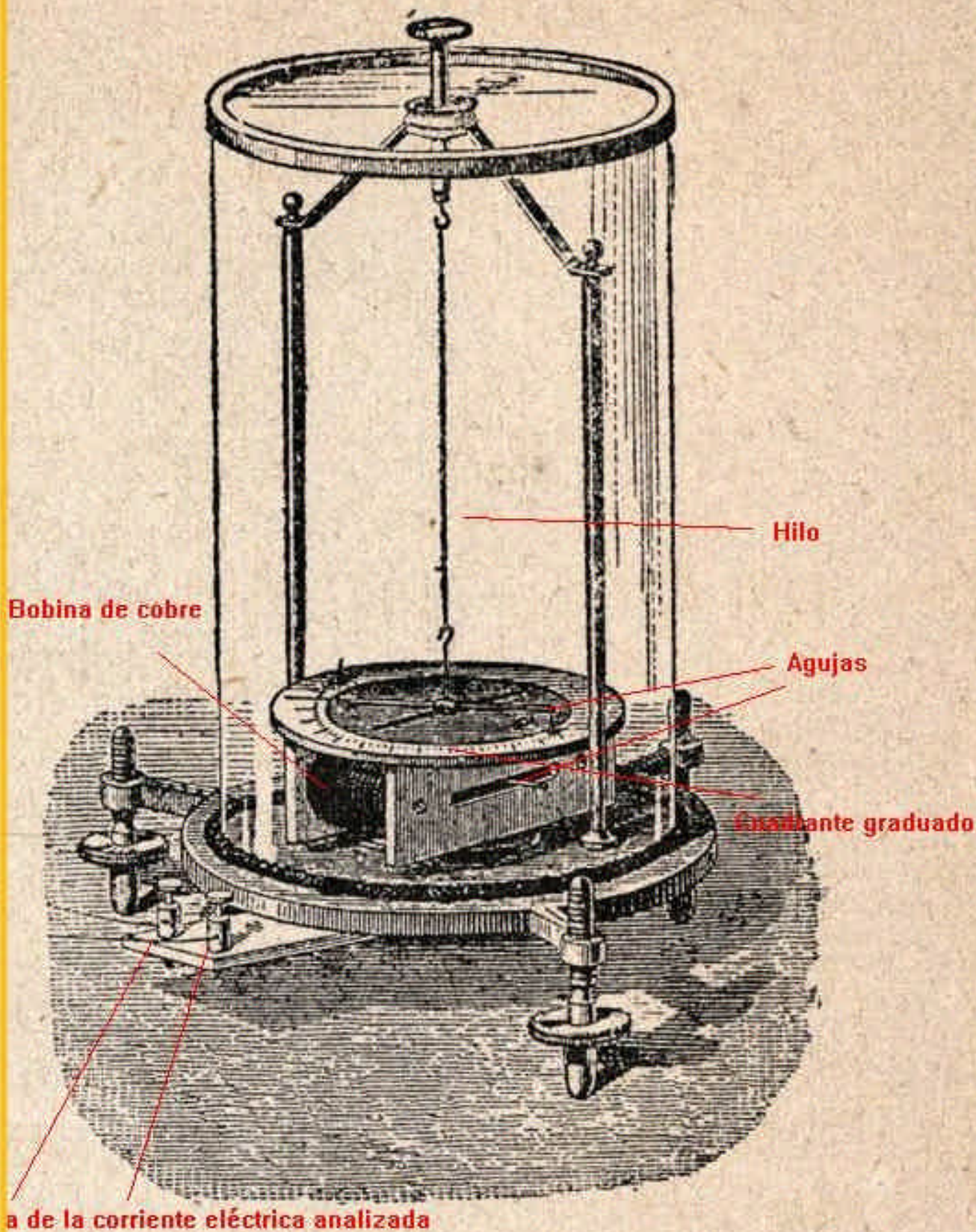
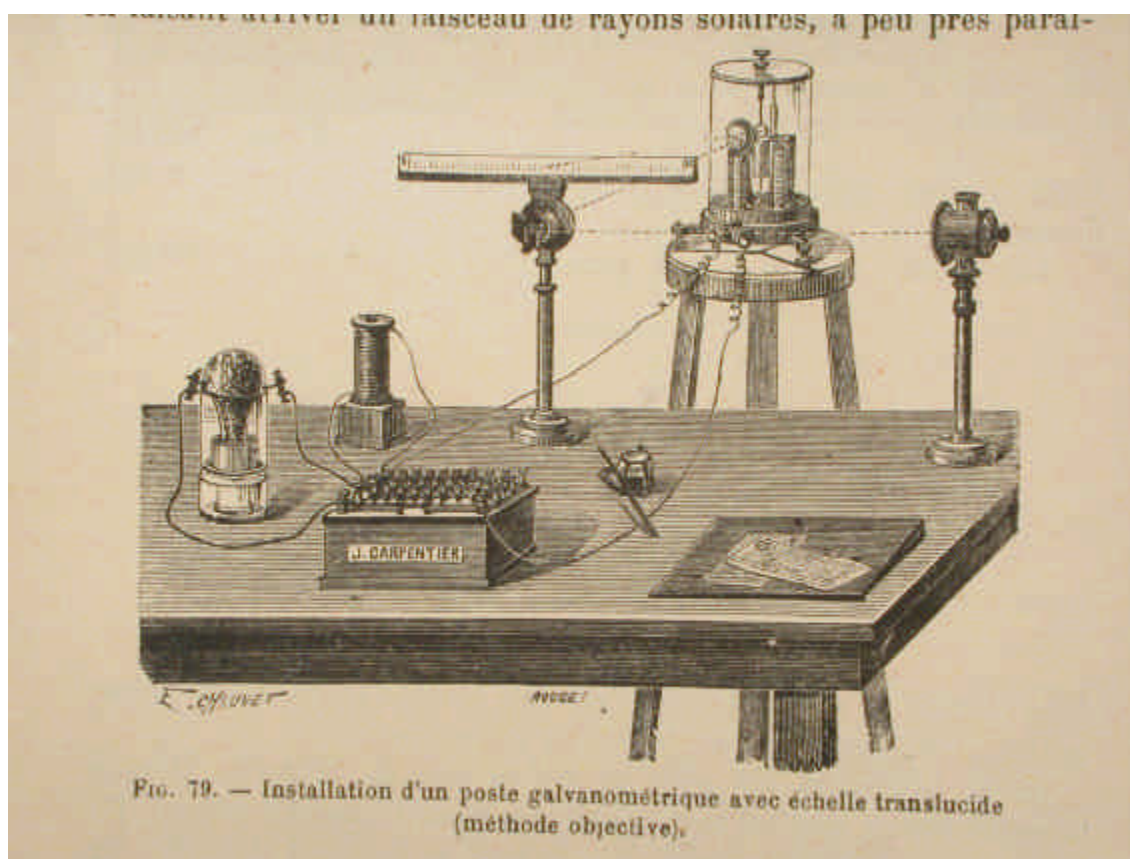


Fig. 409.—Galvanómetro de Nobili.





La lectura de las desviaciones de la aguja en esta escala era difícil y, debido a ello, introdujo el un pequeño espejo sobre el hilo de suspensión, sobre el que se reflejaba un rayo de luz que incidía sobre una regla graduada. Esta se ajustaba de tal modo que, cuando no atravesaba corriente por el circuito, la luz reflejada incidía en su punto cero. Cuando pasa corriente, el espejo gira y la desviación aparece amplificada por la distancia sobre la regla, tal y como aparece en la adjunta. Basta un sencillo cálculo trigonométrico para conocer la desviación. Este método y diversas variantes eran empleados en la investigación mientras que los instrumentos de aguja se mantuvieron en el mundo de la industria, donde la precisión requerida era menos importante.



## ESTUDIOS SOBRE LOS INSTRUMENTOS CIENTIFICOS

Se ofrecen a continuación las referencias de los trabajos citados en los anteriores capítulos así como algunas obras generales que permiten obtener más información sobre ideas comentadas en este libro en torno a la historia de los instrumentos científicos. Para más referencias acerca de la historia de los instrumentos científicos puede consultarse la bibliografía que publica periódicamente la *Scientific Instrument Commission* que se encuentra disponible en su página de internet ([http://www.sic.iuhps.org/in\\_bibli.htm](http://www.sic.iuhps.org/in_bibli.htm)). Más información sobre publicaciones relacionadas con la historia de la ciencia en <http://www.uv.es/=bertomeu>.

- ANDERSON, R. (1995), Connoisseurship, pedagogy or antiquarianism? What were instruments doing in the nineteenth-century national collections in Great Britain?, *Journal of the History of Collections*, 7 (2), 211-225.
- ANDERSON, R. G. W.; BURNETT, J.; GEE, B. (s.a.), *Handlist of Scientific Instrument-Makers' Trades Catalogues 1600-1914*, National Museums of Scotland, 99 p.
- ARCHIBALD, T. (1988), Tension and Potential from Ohm to Kirchoff, *Centaurus*, 31, 141-163.
- AUERBACH, F. (1904), *The Zeiss Works and the Carl-Zeiss Stiftung in Jena. Their Scientific, Technical and Sociological Development and Importance Popularly Described by ...*, London, Marshall, Brookes & Chalkely Ltd., 146 p.
- AVILA FERNANDEZ, A. (s.a.), *Las Escuelas Normales españolas durante el siglo XIX. Disposiciones legislativas y libros de texto*, Sevilla, Univ. de Sevilla.
- BALPE, C. (1999), Constitution d'un enseignement expérimental: La physique et chimie dans les écoles centrales, *Revue d'Histoire des Sciences*, 52, 241-283.
- BANFIELD, E. (1976), *Antique Barometers. An illustrated survey*, Hereford, Wayland Publications.
- BENITO, E.; MARTI ORTELLS, V. (1925), Don Ignacio Tarazona y el Observatorio Astronómico de Valencia, *Anales de la Universidad de Valencia*, 5, 121-174.
- BENNET, J. (1984), *Spectroscopes, prisms, and gratings*, Cambridge, Whipple Museum of the History of Science, 24 p.
- BENNET, J. (1989), A viol of water or a wedge of glass. En: GOODING, D. PINCH, T.; SCHAFFER, S. (eds.), *The uses of experiment. Studies in the natural sciences*, Cambridge, University Press, 105-114.
- BENNET, J. (1997), Museums and the establishment of the history of science at Oxford and Cambridge, *British Journal for the History of Science*, 30, 29-46.
- BERG, A. (1949), *Ernst Leitz: Optische Werke, Wetzlar: 1849-1949*, Frankfurt, Umschau.
- BERNI, M. (1998), *SIC, Scientific Instruments Catalogue*, Florence, Istituto e Museo di Storia de la Scienza.
- BERETTA, M. (2002) *Storia materiale della scienza*, Milano, Mondadori, 323 p.
- BERTOMEU SANCHEZ, J.; GARCIA BELMAR, A. (2000), Instruments científics: vells objectes per a una nova història de la ciència, *Mètode*, 25, 23-26.
- BERTOMEU SANCHEZ, J.; GARCIA BELMAR, A. (2002), Abriendo las cajas negras, Valencia, Universitat de València.
- BLANES NADAL, G., G.; GARRIGOS I OLTRA, L.; GILABERT, P. (1998), Nuevas aportaciones a la historia de la colorimetría: el procedimiento de análisis de los índigos de Houton-Labillardière, *Revista de Química Textil*, 139, 58-74 p.
- BLONDEL, C. (1989), *Etudes sur l'histoire des instruments scientifiques. actes de VIIe Symposium de la Commission "Instruments scientifiques" de l'Union Internationale d'Histoire et de Philosophie des Sciences, Paris du 15 au 19 septembre 1987*, London-Paris, 290 p.
- BLONDEL, C.; DORRIES, M. (1994), *Restaging Coulomb*, Florence, Olschki.
- BLONDEL, C. (1997), Electrical instruments in 19th century France, between makers and users, *History of Technology*, 13, 157-182.
- BLONDEL, C. (1998), Les physiciens français et l'électricité industrielle à la fin du XIX siècle, *Physis*, 35, 245-271.
- BOLLE, B. (1982), *Barometer*, Watford, Aarhus Books.
- BOURGET, M.; LICOPPE, C.; SIBUM, H.O. (eds.) (2002), *Instruments, Travel and Science. Itineraries of Precision from the Seventeenth to the Twentieth Century*, London, Routledge, 303 p.
- BOWERS, B. (2001), *Sir Charles Wheatstone FRS, 1802-1875*, London, The Institution of Electrical Engineers, 235 p.
- BRACEGIRDLE, B. (1986), *A History of Microtechnique*, Lincolnwood, Science Heritage Ltd., 392 p.
- BRAND, J. (1995), *Lines of Light: The Sources of Dispersive Spectroscopy, 1800-1930*, Gordon and Breach Pub..
- BRENNI, P. (1986), La galvanométrie après Nobili. En: Cardot, F., *Actes du colloque international d'histoire de l'électricité*, Paris, 195-222.
- BRENNI, P. (1993), 19th Century French Scientific Instrument Makers. I: H-P Gambey, *Bulletin of the Scientific Instrument Society* (38), 3 p..



- BRENNI, P. (1993), 19th Century French Scientific Instrument Makers. II: The Chevalier Dynasty, *Bulletin of the Scientific Instrument Society* (39), 4 p..
- BRENNI, P. (1994), 19th Century French Scientific Instrument Makers. IV: Heinrich Daniel Ruhmkorff (1803-1877), *Bulletin of the Scientific Instrument Society* (41), 5 p..
- BRENNI, P. (1994), 19th Century French Scientific Instrument Makers. III: Lerebours et Secretan, *Bulletin of the Scientific Instrument Society* (40), 4 p..
- BRENNI, P. (1994), 19th Century French Scientific Instrument Makers. V: Jules Carpentier (1851-1921), *Bulletin of the Scientific Instrument Society* (43), 4 p..
- BRENNI, P. (1995), *Gli strumenti di fisica dell'Istituto Tecnico Toscano, OTTICA*, Prato, Giunti, 240 p.
- BRENNI, P. (1995), 19th Century French Scientific Instrument Makers. VI: The Triumph of Experimental Acoustics: Albert Marloye (1795-1874) and Rudolph Koenig (1832-1901), *Bulletin of the Scientific Instrument Society* (44), 5 p..
- BRENNI, P. (1995), 19th Century French Scientific Instrument Makers. VII: Paul Gustave Froment (1815-1865), *Bulletin of the Scientific Instrument Society* (45), 6 p..
- BRENNI, P. (1995), 19th Century French Scientific Instrument Makers. VIII: Eugène Ducretet (1844-1915), *Bulletin of the Scientific Instrument Society* (46), 6 p..
- BRENNI, P. (1995), 19th Century French Scientific Instrument Makers. IX: Louis Joseph Deleuil (1795-1862) and his son Jean Adrien Deleuil (1825-1894), *Bulletin of the Scientific Instrument Society* (47), 4 p..
- BRENNI, P. (1996), 19th Century French Scientific Instrument Makers. X: The Richard Family, *Bulletin of the Scientific Instrument Society* (48), 5 p..
- BRENNI, P. (1996), 19th Century French Scientific Instrument Makers. XI: The Brunners and Paul Gautier, *Bulletin of the Scientific Instrument Society* (49), 6 p..
- BRENNI, P. (1996), 19th Century French Scientific Instrument Makers. XII: Louis Clement François Breguet and Antoine Louis Breguet, *Bulletin of the Scientific Instrument Society* (50), 6 p..
- BRENNI, P. (1996), 19th Century French Scientific Instrument Makers. XIII: Soleil, Duboscq, and Their Successors, *Bulletin of the Scientific Instrument Society* (51), 10 p..
- BRENNI, P. (1997), Physics Instruments in the Twentieth Century. En: J. KRIGE; D. PESTRE (eds.), *Science in the Twentieth Century*, 741-759.
- BRENNI, P.; Mazzolini, R. G. (Ed.) (1997), *Le collezioni scientifiche del Ginnasio Liceo "Giovanni Prati" di Trento. A. Gli strumenti scientifici.*, Trento, 161 p.
- BRENNI, P. (1998), La funzione degli strumenti scientifici nella didattica fra Settecento e Ottocento, *Studi Settecenteschi*, 18, 421-431.
- BRENNI, P. (1998), Tuning Fork. En: R. BUD; D.J. WARNER (ed.), *Instruments of Science. An Historical Encyclopedia*, New York, 635-637.
- BRENNI, P. (2000), *Gli strumenti di fisica dell'Istituto Tecnico Toscano Eletticità e Magnetismo*, Firenze, Le Lettere.
- BRENNI, P. (2001), Scientific and technological heritage; collections and instruments: what to do?. En: *First Spring School on "History of Science and Scientific Popularisation: the Museums"*, Maó, Societat Catalana d'Història de la Ciència - Institut Menorquí d'Estudis, 82-88.
- BROWN, L.; RECHENBERGER, H. (eds.) (1996), *The Origin of the Concept of Nuclear Forces*, Bristol.
- BUCHWALD, J. (1996), *Scientific Credibility and Technical Standards in 19th and Early 20th Century Germany and Britain*, Dordrecht, Kluwer, ix + 182 p.
- BUD, R.; COZZENS, S.E. (1992), *Invisible Connections. Instruments, Institutions, and Science*, Washington, SPIE, 306 p.
- BUD, R. (1997), History of Science and the Science Museum, *British Journal for the History of Science*, 30, 47-50.
- BUD, R.; WARNER, J.D. (eds.) (1998), *Instruments of science: an historical encyclopedia*, New York, Science Museum, xxv + 709 p.
- CAHAN, D. (1985), The institutional revolution in German physics, 1865-1914, *Historical Studies in the Physical Sciences*, 15, 1-65.
- CAJORI, F. (1994), *A History of the Logarithmic Slide Rule and Allied Instruments*, Astragal Press.
- CANTOR, G. (1989), The Rhetoric of Experiment. En: GOODING, D. PINCH, T.; SCHAFFER, S. (eds.), *The uses of experiment. Studies in the natural sciences*, Cambridge, University Press, 159-180.
- CARON, F., C. (1991), *Histoire de l'Électricité en France. Tome premier 1881-1918*, Paris, Fayard, 999 p.
- CARPENTIER (1972), *J. Carpentier 1851-1921*, Paris, Cnam, 31 p.
- CATALA DE ALEMANY, J.; SENENT PEREZ, F. (1970), El Instituto de Física Corpuscular de Valencia, *Arbor*, 300.
- CENTRE (1959-1960), ... *national d'histoire des sciences. Inventaire des instruments scientifiques historiques conservés en Belgique*, Brussels, 2 vols. vols.
- CERUZZI, P. (2000), *A History of Modern Computing*, Boston, MIT, 398 p.
- CHAMOUX, H. (2002), *Constructeurs d'instruments scientifiques pour les établissements publics au XIXe siècle*.
- CHENG, K. (1989), ph Glass Electrode and its Mechanism. En: J. STOCK; K.L. CHENG (eds.), *Electrochemistry, past and present*, Washington, American Chemical Society, 286-301.
- CHILD, E. (1940), *The Tools of the Chemist ...*, Nueva York, Reinhold Publishing Corporation, 220 p.
- CLERCQ, P. (1985), *Nineteenth century scientific instruments and their makers. Papers presented at the Fourth Scientific Instrument Symposium, Amsterdam 23-26 October 1984.*, Amsterdam, Editions Rodopi B. V., 275 p.

- COLLINS, H.; SHAPIN, S. (1989), Experiment, Science Teaching, and the New History and Sociology of Science. En: M. SHORTLAND; A. WARWICK (eds.), *Teaching the History of Science*, Oxford, Basil Blackwell, 67-80.
- COLLINS, H.; PINCH, T (1996). *El Gólem. Lo que todos deberíamos saber acerca de la ciencia*. Barcelona, Crítica.
- COLLINS, P. (1990), *Care and Restoration of Barometers*, Trowbridge, Baros Books.
- COMITE (1964), ... *national français d'histoire et de philosophie des sciences. Inventaire des instruments scientifiques historiques conservés en France*, Paris, Centre de Documentation d'histoire des Techniques, 140 p.
- CORBIN FERRER, J. (1979), *Monografía Histórica del Instituto de Enseñanza Media "Luis Vives" de Valencia*, Valencia, Ayuntamiento de Valencia, 183 p.
- CRAWFORD, E. (1996), *Arrhenius. From Ionic Theory to the Greenhouse Effect*, Canton, Science History Publications.
- DAUMAS, M. (1953), *Les instruments scientifiques aux XVIIe et XVIIIe siècles*, Paris, PUF.
- DAUMAS, M. (1963), Precision of Measurement and Physical and Chemical Research in the Eighteenth Century. En: A. CROMBIE (ed.), *Scientific Change*, 418-430.
- DUCRETET, B. (1971), Eugène Ducretet (1844-1915), *Ondes Courtes Information*, 18.
- DUNKEL, M. (1973), *Geschichte der Firma E. Leybold's Nachfolger, 1850 bis 1966 ...*, Köln, E. Leybold's Nachfolger.
- DURANT, J. (1992), *Museums and the public understanding of science*, London, Science Museum, 109 p.
- EGIDO, A. et al. (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, 399 p.
- ERKER, P (1994), The challenge of new technology: transistor research and business strategy at Siemens and Philips, *History and Technology*, 11, 131-143.
- FERRIOT, D.; JACOMY, Bruno (1998), Problématique d'une rénovation: musée des Arts et Métiers. En: SCHIELE, B.; KOSTER, E.H. (eds.), *La Révolution dans la Muséologie des Sciences*, Lyon, Presses Universitaires de Lyon.
- FERRIOT, D. (2001), Les musées de la science, *La revue*, 32.
- FIELD, J. (1988), What is scientific about a scientific instrument, *Nuncius*, 3 (2), 3-26.
- FORBES, R. (1948), *A Short History of the Art of Distillation*, Leyden, Brill.
- FOX, R. (1971), *The Caloric Theory of Gases. From Lavoisier to Regnault*, Oxford, Clarendon Press.
- FOX, R., R.; GUAGNINI, A. (1998), Laboratories, workshops and sites. Concepts and practices of research in industrial Europe, 1800-1914, *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 29 (1-2), 55-99, 191-291.
- FRISON, D. ([1966]), *Henri van Heurck Museum. Geïllustreerde Inventaris van de Historische Microscopen Onderdelen en Uitrustingen*, [Anvers], Koninklijke Maatschappij voor Dierkunde.
- GAGO, R. et al. (1977), El plan del rector Blasco (1786) y la renovación de las disciplinas científicas en la Universidad de Valencia: la química y la enseñanza clínica, *Estudis*, 6, 157-170.
- GALISON, P. (1997), *Image and Logic. A material culture of microphysics*, Chicago, Univ. Chicago Press, 955 p.
- GARCIA BELMAR, A.; BERTOMEU, J.R. (1992), El laboratorio químico de la Universidad de Valencia a través de sus gastos. En: H. CAPEL; J.M. LOPEZ PIÑERO; J. PARDO (coord.), *Ciencia e Ideología en la ciudad, I Coloquio Interdepartamental*, Valencia, Generalitat Valenciana, 1, 123-132.
- GARCIA BELMAR, A.; BERTOMEU SANCHEZ, J.R. La Real Sociedad Económica de Amigos del País de Valencia y la enseñanza de la química aplicada a las artes durante la primera mitad del siglo XIX. En: L. GARRIGOS I OLTRA, G. BLANES I NADAL (eds.), *150 Anys de la Consolidació Industrial a Alcoi*. Alcoi. Universitat Politècnica de València, 171-243.
- GARCIA DEL DUJO, A. (1985), *El Museo Pedagógico nacional (1882-1941). Teoría educativa y desarrollo histórico*, Salamanca, ICE.
- GARCIA DEL DUJO, A. (1985), El Museo Pedagógico Nacional y la formación del profesorado. En: R. BERRIO et al. (eds.), *Un educador para un pueblo. Manuel B. Cossio y la renovación pedagógica institucionista*, Madrid, UNED, 149-175.
- GARCIA DEL REAL, M. (2001), Un gran patrimonio al descubierto: Los materiales científicos utilizados para la enseñanza en los institutos andaluces, *Andalucía Educativa*, 25, 18-20.
- GARCIA MOLINA, R.; VILLADA LOBETE, L.A. (2000), Instrumentos Antiguos de Física: recuperación de patrimonio y uso didáctico, *Revista Española de Física*, 14 (3), 47-55.
- GARCIA MOLINA, R. (2002), Recuperación de los instrumentos antiguos de física del Instituto "Jorge Juan", de Alicante, *Azimut*, 23, 1-2.
- GARCIA MOLINA, R. (2002), José Soler Sánchez i altres hòmens de ciència alacantins, *Quaderns de Migjorn*, 5, 1-25.
- GARCIA MOLINA, R.; VILLADA LOBETE, L.A. (2000), Instrumentos antiguos de física: recuperación de patrimonio y uso didáctico, *Revista Española de Física*, 45, 1-9.
- GARCIA MOLINA, R.; VILLADA LOBETE, L.A. (2002), Un gabinet de física a cavall entre dos segles: els instruments antics de física de l'Institut "Jorge Juan" d'Alacant, *Quaderns de Migjorn*, 5, 1-29.
- GARRIGOS I OLTRA, L., L.; MILLAN VERDU, C.; BLANES NADAL, G. (1999), Precursores de la colorimetría: los intentos de cuantificar el poder decolorante del carbón, *Revista de Química Textil*, 145, 18-31 p..
- GARRIGOS I OLTRA, L., L.; MILLAN VERDU, C.; BLANES NADAL, G. (2001), The contributions of Payen and Labillardière to the development of colorimetry, *Bulletin of the History of Chemistry*, 26 (1), 57-65 p..



- GARRIGOS OLTRA, L.; BLANES NADAL, G.; GILABERT PEREZ, E. (1998), Nuevas aportaciones a la historia de la colorimetría: El procedimiento de análisis de los índigos de Houtou de Labillardière, *Revista de Química Textil*, 139, 58-74.
- GLASS, I. (1997), *Victorian Telescope Makers: The Lives & Letters of Thomas & Howard Grubb*, London, Institute of Physics Pub.
- GOLINKSI, J. (1994), "The Nicety of Experiment": Precision of Measurement and Precision of Reasoning in late eighteenth-century chemistry. En: N. WISE (ed.), *The Values of Precision*, Princeton, Univ. Press, 72-91.
- GOLINSKI, J. (1994), Precision Instruments and the Demonstrative Order of Proof in Lavoisier's Chemistry, *Osiris*, 9, 30-48.
- GOODAY, G. (1990), Precision measurement and the genesis of physics teaching laboratories in Victorian Britain, *British Journal for the History of Science*, 23, 25-51.
- GOODAY, G. (1991), Teaching Telegraphy and Electrotechnics in the Physics Laboratory: William Ayrton and the Creation of an Academic Space for Electrical Engineering in Britain 1873-1884, *History of Technology*, 13, 73-111.
- GOODAY, G. (1995), The morals of Energy Metering: Constructing and Deconstructing the Precision of the Victorian Electrical Engineer's Ammeter and Voltmeter. En: N. WISE (ed.), *The Values of Precision*, Princeton, Univ. Press, 239-283.
- GOODING, D.; PINCH, T.; SCHAFFER, S. (1989), *The uses of experiment. Studies in the natural sciences*, Cambridge, University Press, xvii + 481 p.
- GOODISON, N. (1969), *English Barometer, 1680-1860. A History of English Domestic Barometers and their Makers*, London.
- GRANADOS RUIZ, D.; SANCHEZ, C. (1999), La máquina de Morin y sus aplicaciones didácticas, *Revista Española de Física*, 13 (1), 40-44.
- GRIFFITHS, D.; BRECH, A. (2002), *A Catalogue of the Books in the Vickers Collection in the J.B. Morrell Library of the University of York by ... with an essay on the Vickers Collection (archives, books, and instruments) by ...*, York, University of York Library.
- GUIJARRO MORA, V.; JIMENEZ, M.J.; SEBASTIAN, A. (1994) "Los constructores británicos del siglo XVIII en la Colección del Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (Madrid)" *Llull*, 17 (32), 25-59.
- GUIJARRO MORA, V.F. (1996), *La ciencia ilustrada y sus máquinas. El gabinete de física experimental de los Reales Estudios de San Isidro de Madrid (1770-1835)*, Madrid, UNED, tesis doctoral.
- GUIJARRO MORA, V.F. (2001) Petrus van Muschenbroek y la física experimental del siglo XVIII, *Asclepio*. 53 (2), 191-212.
- GUZMAN, M. (1973), *Cómo se han formado los maestros, 1871-1971*, Barcelona, Prima Luce.
- GUZMAN, M. (1986), *Vida y muerte de las escuelas normales*, Barcelona, PPU.
- HACKMANN, W. (1978), *Electricity from Glass: The Development of the Frictional Electrical Machine, 1600-1850*, Alphen aan den Rijn, Sijthoff and Noordhoff, 310 pp.
- HACKMANN, W. (1979), The Relationship between Concept and Instrument Design in Eighteenth-Century Experimental Science, *Annals of Science*, 36, 205-224.
- HACKMANN, W. (1989), Scientific Instruments: Models of Brass and Aids to Discovery. En: GOODING, D. PINCH, T.; SCHAFFER, S. (eds.), *The uses of experiment. Studies in the natural sciences*, Cambridge, University Press, 31-65.
- HANKINS, T.; HELDEN, A. van (1994), Instruments, *Osiris*, 9, 1-243.
- HANKINS, T.; SILVERMAN, R.J. (1995), *Instruments and the Imagination*, Princeton, Univ. Press.
- HANNAWAY, O. (1986), Laboratory Design and the Aim of Science: Andreas Libavius versus Tycho Brahe, *Isis*, 77, 585-610.
- HANSEN, J. (1974), *The Billings Microscope Collection of the Medical Museum Armed Forces Institute of Pathology*, Washington, Armed Forces Institute of Pathology.
- HARRISON, S. (1985), *Golden Past, Golden Future: The First Fifty Years of Beckman Instruments, Inc.*, Claremont, Calif., Claremont University Center.
- HAWES, R.; Hedgecock, A. (1980), *History of the Avometer*, Avo Ltd., 5 + 1 P.
- HEERING, P. (1994), The Replication of the Torsion balance experiment, the inverse square law and its refutation by early 19th-century German physicists. En: C. BLONDEL; M. DORRIES (eds.), *Restaging Coulomb*, Florence, Olscki, 47-67.
- HEILBRON, J. (1993), Some Uses for The Catalogues of Old Scientific Instruments. En: R.W. ANDERSON et al. (eds.), *Essays on Historical Scientific Instruments ...*, Aldershot, Variorum, 1-16.
- HENSTCHEL, K. (2002), *Mapping the Spectrum - Techniques of Visual Representation in Research and Teaching*, Oxford, University Press, 560 p.
- HENTSCHER, K. (2002), Spectroscopi Portraiture, *Annals of Science*, 59, 57-82.
- HERWIJNEN, H. (2002), *Slide Rule Catalogue. n. 109 [CD-ROM]*, Voorschoten, The Author.
- HISTORY (1962), The ... of the torsion balance as a teaching instrument, *Die Leybold-Welle*, 2 (7-8), 42-47.
- HODDESON, L. (1994), Research on crystal rectifiers during world war II and the invention of the transistor, *History and Technology*, 11, 121-130.
- HOGG, J. (1898), *The Microscope. Its history, construction and application ...*, London, George Routledge & Sons, 704 p.
- HOLBROOK, M. (1992), *Science Preserved. A directory of scientific instruments in collections in the United Kingdom and Eire*, London, HMSO Publications Centre, 271 p.



- HOLMES, F. (1989), *Eighteenth-Century Chemistry as an investigate enterprise*, Berkeley, Univ. of California.
- HOLMES, F.; LEVERE, T. (2000), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, Cambridge, MIT Press, xxii + 415 p.
- HOLTON, G. (1978), Subelectrons, Presuppositions, and the Millikan-Ehrenhaft Dispute, *Historical Studies in the Physical Sciences*, 9, 161-225.
- HOLLAND, J. (1999), Historic Scientific Instruments and the Teaching of Science: A guide to resources. En: M. R. MATTHEWS (ed.), *History, Philosophy & NEw South Wales Science Teaching*, 121-129.
- HONG, S. (1996), From Effect to Artifact (II): The Case of the Thermionic Valve, *Physis*, 33 (1-3), 85-124.
- HOPLEY, I. (1957), Maxwell's work on electrical resistance. - The determination of the absolute unit of resistance, *Annals of Science*, 13, 265-272.
- HOPP, P. (1999), *Slides Rules: Their History, Models and Makers*, Astragal Press.
- HULIN, N. (1990), Les instruments dans l'enseignement scientifique au XIX siècle, *Corps Ecrit*, 35.
- HUNT, B. (1994), The Ohm is where the Art is: British Telegraph Engineers and the Development of Electrical Standards, *Osiris*, 9, 48-63.
- INSTITUTO LEONARDO TORRES QUEVEDO (194?), *Descripción del Instituto Leonardo Torres Quevedo de Instrumental Científico*, Madrid, Publicaciones españolas.
- JACOMY, B. (1995), Du Cabinet au Conservatoire. Les instruments scientifiques du Conservatoire des Arts et Métiers de Paris, *Journal of Historical Collections*, 7 (2), 227-233.
- JAMES, F. (1983), The Establishment of Spectro-Chemical Analysis as a Practical Method of Qualitative Analysis, 1854-1861, *Ambix*, 30 (1), 30-53.
- JAMES, F. (1983), The debate on the nature of the absorption of light, 1830-1835: A core-set analysis, *History of Science*, 21, 335-368.
- JAMES, F. (1985), The Discovery of Line Spectra, *Ambix*, 32 (2), 55-70.
- JAMES, F. (1989), *The Development of the Laboratory*, New York.
- JASELSKIS, B.; MOORE, C.E.; SMOLINSKI, A. (1989), Development of the pH Meter. En: J. STOCK; ORNA, M.V. (eds.), *Electrochemistry, past and present*, Washington, American Chem. Soc..
- JOHNSTON, S. (2001), *A History of Light and Colour Measurement: Science in the Shadows*, Glasgow, University of Glasgow.
- JUNGNICKEL, C.; McCORMMACH, R. (1986), *Theoretical Physics from Ohm to Einstein. Volume 1: The Torch of Mathematics 1800-1870*, Chicago, The University of Chicago Press, 350 p.
- KEITHLEY, J. (1999), *The Story of Electrical and Magnetic Measurements from 500 BC to the 1940s*, New York, Institute of Electrical and Electronic Engineers, 240 p.
- KIELY, E. (1947), *Surveying Instruments Their history and classroom use*, New York, Columbia University Pub., 411 p.
- KLEPPINGER, E.; YATES, S.W. (1987), Attenuation of Gamma Rays in Binary Compounds. A Versatile Illustration of Beer's Law, *J. Chem. Educ.*, 64 (2), 172-174.
- LATOUR, B.; WOOLGAR, S. (1979), *Laboratory life: The social construction of scientific facts*, Beverly Hills, Calif. : Sage, 272 p.
- LATOUR, B. (1987), *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*, Cambridge, Harvard Univ. Press, 274 p.
- LAURIDSEN, E.; ABRAHAMSEN, N. (1998), The History of Astatic Magnet Systems and Suspensions, *Centaurus*, 40, 135-169.
- LENOIR, T. (1997), *Instituting Science. The Cultural Production of Scientific Disciplines*, Stanford, Stanford University Press, 343 p.
- LICOPPE, C. (1996), *La formation de la pratique scientifique. Le discours de l'expérience en France et en Angleterre (1630-1820)*, Paris, Editions la Découverte, 346 p.
- Lindqvist, S. (2000), *Museums of Modern Science*, Canton, Watson, Science History Publications.
- LOPEZ PIÑERO, J.; NAVARRO BROTONS, V. (1995), *Història de la ciència al País Valencià*, València, Alfons el Magnànim, 661 p.
- LUCKEMEYER, L. (1984), Leitz, E.. En: AA.VV., *Neue Deutsche Biographie*, Berlin, 14, 173-175.
- LYNCH, A. (1993), Impact of electronic devices on electrical measurement, *IEE Proceedings - A*, 140 (3), 221-223.
- MACKAY, Ray (1998), *Recollections on the Madas Calculator [Manufacture by H.W.Egli, of Switzerland]*.
- MADDISON, F. (1963), Early astronomical and mathematical instruments. Brief survey of sources and modern studies, *History of Science*, 2, 17-50.
- MARIA, M.; IANNILO, M.G.; MALTESE, G. (s.a.), *Enrico Fermi e l'Universo della Fisica*, Roma, Dipartimento di Fisica, Università "La Sapienza".
- MARTINEZ, G. (1950), *Notizie sulla vita della e nella "Galileo" dall'origine fino al 1943*, Firenze.
- MAYR, O. (1990), *The Deutsches Museum. German Museum of Masterworks of Science and Technology*, Munich, Munich, Deutsches Museum, 160 p.
- MCCONNELL, A. (1989), Aluminium and Its Alloys for Scientific Instruments, 1855-1900, *Annals of Science*, 46, 611-620.
- MCCONNELL, A. (1992), *Instrument Makers to the World: A History of Cooke, Troughton & Simms.*, York, William Sessions Ltd., xxii + 116 p.
- MCCONNELLL, A. (1994), *Barometers*, Buckinghamshire, Shire Publications Ltd., 32 p.





- McCORMICK, J. (1987), *Eighteenth Century Microscopes. Synopsis of History and Workbook*, Lincolnwood, Science Heritage Ltd, 185 pp.
- McCORMICK, M. (1987), *History of Microscopy Series*, Lincolnwood, Science Heritage.
- McCORNELL, A. (1992), *Instruments makers to the world: a history of Cooke, Troughon & Simms; by ...*, York, William Sessions Ltd., xii + 116 p.
- McGUCKEN, W. (1969), *Nineteenth Century Spectroscopy: Development of the Understanding of Spectra, 1802-1897*, Baltimore and London, Johns Hopkins University Press.
- MACNEVIN, William Marshall. *The Analytical Balance, Its Care and Use*. Sandusky, Ohio: Handbook Publishers, Inc., 1951.
- MEINEL, C. (2000), *Instrument-Experiment. Historische Studien*, GNT Verlag.
- MELCON BELTRAN, J. (1992), *La formación del profesorado en España (1837-1914)*, Madrid, MEC.
- MERTENS, J. (1998), Shocks and Sparks. The Voltaic Pile as a Demonstration Device, *Isis*, 300-311.
- MERTENS, J. (1999), The Theoretical Batteries of Georges Leclanché, *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 49, 75-102.
- MICHEL, H. (1939), *Introduction à l'étude d'une collection d'instruments anciens de mathématiques*, Anvers.
- MICHEL, H. (1958), Note sur l'inventaire mondial des instruments scientifiques d'intérêt historique, *Archives Internationales d'histoire des sciences*, XI, 394-401.
- MIDDLETON, W. (1964), *The history of the barometer by ...*, Baltimore, John Hopkins Press, xx, 489 p.
- MIDDLETON, W. (1966), *A History of the Thermometer and Its use in Meteorology*, Baltimore, The Johns Hopkins Press, 249 p.
- MIDDLETON, W. (1969), *Invention of the Meteorological Instruments*, Baltimore, John Hopkins Press.
- MIDDLETON, W. (1969), *Invention of the Meteorological Instruments*, Baltimore, The Johns Hopkins Press, 362 p.
- MILLS, J. (1983), *Encyclopedia of antique scientific instruments*, London, Aurum, 225 p.
- MOLLAN, C. (1995), *Irish National Inventory of History Scientific Instruments*, Dublin, Samton Limited, 501 p.
- MONTAGNÉ, J. (s.a.), *Eugène Ducretet. Pionnier français de la Radio*, Paris, L'auteur, 208 p.
- MORENO, R.; ROMERO, A.; REDRAJO, F. (1995), *Recuperación de la Instrumentación científico-histórica del CSIC. El Museo Nacional de Ciencias Naturales*, Madrid, CSIC, 260 p.
- MORENO, R.; ROMERO, Ana (1996), La recuperación de la instrumentación científico-histórica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, *Arbor*, 153 (603), 9-54.
- MORENO, R.; ROMERO, A.; REDRAJO, F. (1996), *Recuperación del Instrumental científico-histórico del CSIC. Centro de tecnologías "Leonardo Torres Quevedo"*, Madrid, CSIC, 600 p.
- MORENO, R.; ROMERO, A.; REDRAJO, F. (1996), *La Recuperación de la instrumentación científico-histórica del CSIC. Instituto de Química-Física "Rocasolano". Instituto de Óptica "Daza Valdés"*, Madrid, CSIC, 600 p.
- MORENO, R., ROMERO, A.; REDRAJO, F. (1996), "La recuperación de la instrumentación científico-histórica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas". *Arbor*, CLIII, 603, 9-54.
- MORENO, R.; ROMERO, A. (1997), Recuperación del instrumental científico-histórico del CSIC. Antecedentes del Instituto "Torres Quevedo" I. El laboratorio de automática, *Arbor*, CLVI (616), 131-166.
- MORENO GONZALEZ, A. (1988), *Una ciencia en cuarentena. La física académica en España (1750-1900)*, Madrid, CSIC, 561 p.
- MORRIS, P.; TRAVIS, A.S. (1997), The Role of Physical Instrumentation in Structural Organic Chemistry. En: J. KRIGE; D. PESTRE (eds.), *Science in the Twentieth Century*, 715-741.
- MORUS, I. (1988), The Sociology of Sparks: An Episode in the History and Meaning of Electricity, *Social Studies of Science*, 18, 387-417.
- MORUS, I. (1991), Telegraphy and the Technology of Display: The Electricians and Samuel Morse, *History of Technology*, 13, 21-40.
- MORUS, I. (1993), Currents from the Underworld, *Isis*, 84, 50-69.
- MULVEY, T. (1967), The History of the Electron Microscope. En: S. BRADBURY; G.L.TURNER (eds.), *Historical Aspects of Microscopy*, Cambridge, 201-225.
- MUSEO (1954), ... *di Storia della Scienza. Firenze. Catalogo degli strumenti del Museo di Storia della Scienza*, Firenze, Leo S. Olschki, 394 p.
- MUSEO (2001), ... *Mecánico Virtual, Escuela Universitaria Politécnica de Linares*. Maroto, J.A. et al., Linares, EUP de Linares.
- MUSEUM (1991), ... *collecting policies in modern science and technology*, Londo, Science Museum, 52 p.
- NAVARRO BROTONS, V. (2002), El cultivo de la astronomía fuera y dentro de la Universidad, en la época de la Restauración: Los casos de José Joaquín Landerer e Ignacio Tarazona y Blanch. En: M. PESET (coord.), *II Congreso Internacional de Historia de las Universidades Hispánicas*, Valencia, 819-830.
- NICOLINI, N.; TERENNA, G. (1999), *La Collezione di Vetreria Scientifica*, Siena, CUTVAP, 192 p.
- NYE, M. (1996), *Before Big Science. The Pursuit of Modern Chemistry and Physics 1800-1940*, Cambridge, Harvard University Press, 281 p.
- OLESKO, K. (1985), The mental world of Physiklehrer: subject and method in history of mentalities, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 6 (2-3), 347-362.

- OLESKO, K. (1991), *Physics as a calling: Discipline and practice in the Königsberg seminar for physics*, Ithaca, Cornell University Press, 488 p.
- OLESKO, K. (1993), Tacit Knowledge and School Formation, *Osiris*, 8, 16-29.
- O'CONNELL, J. (1993), Metrology: The Creation of Universality by the Circulation of Particulars, *Social Studies of Science*, 23, 129-173.
- PANCALDI, G. (2002), Appropriating invention: the reception of the voltaic battery in Europe. En: M.N. BOURGUET et al. (eds.), *Instruments, Travel and Science. Itineraries of Precision from the Seventeenth to the Twentieth Century*, London, Routledge, 126-156.
- PARASCANDOLA, J.; IHDE, A.J. (1969), History of the Pneumatic Trough, *Isis*, 55, 351-361.
- PARTINGTON, J. (1961-70), *A History of Chemistry*, London, Macmillan, 4 vols. vols.
- PAYEN, J. (1986), Les constructeurs d'instruments scientifiques en France au XIX<sup>e</sup> siècle, *Archives Internationales d'histoire* (36), 84-161.
- PESET CERVERA, V. (1891), *Discurso apologético leído ante el Instituto Médico Valenciano*, Valencia, Imp. Ferrer de Orga.
- PESTRE, D. (1994), La pratique de reconstruction des expériences historiques, une toute première réflexion. En: C. BLONDEL; M. DORRIES (eds.), *Restaging Coulomb*, Florence, Olschki, 17-31.
- PHILIPS, V. (1987), *Waveforms: A History of Early Oscillography*, Bristol, Hilger.
- PHILLIPS, M. (1983), Laboratories and the rise of the physics profession in the nineteenth century, *American Journal of Physics*, 51 (6), 497-503.
- PHILLIPS, V. (1987), *Waveforms: A History of Early Oscillography*, Bristol, Adam Hilger, 259 p.
- PUIG PLA, C. (2000), Desarrollo y difusión de la construcción de máquinas e instrumentos científicos: el caso de Barcelona: siglos XVIII y XIX, *Scripta Nova*, 69 (8).
- PUIG PLA, C. (2000), Els primers socis artistes de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona (1764-1824). En: A. NIETO; A. ROCA (eds.), *La Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona als segles XVIII i XIX*, Barcelona, RACAB-IEC, 287-309.
- PYE, D. (2001), *Polarised Light in Science and Nature*, Bristol and Philadelphia, IOP.
- QUEROL CABOT, D. (1997), Astronomía en la Valencia de la Restauración. Ignacio Tarazona y el Observatorio de Valencia. En: G. BLANES et al. (eds.), *IV Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, Barcelona, SCHCT, 173-181.
- RHEINBERGER, H. (1997), *Toward a history of epistemic things: Synthesizing proteins in the test tube*, Stanford, Calif., Stanford Univ. Press, x, 325 p.
- RIGNINI BONELLI, M. (1976), *Il Museo di Storia della Scienza A Firenze*, Milano, Electa Editrice, 250 p.
- ROMERO DE PABLOS, A. (1998), Dos políticas de instrumental científico: el Instituto del Material Científico y el Torres Quevedo, *Arbor*, 160 (631-632), 395-386.
- ROMERO DE PABLOS, A. (1998), El instrumento como dinamizador del desarrollo científico, *Arbor*, 160, 44-60.
- ROMERO DE PABLOS, A. (1999), Regeneracionismo e instrumentación científica. En: O. RUIZ-MANJÓN; A. LANGA (eds.), *Los significados del 98*, Madrid, Fundación ICO, 713-724.
- ROMERO DE PABLOS, A. (1999), Fisiología e instrumentación en el cambio de siglo: José Rodríguez Ocaña, *Arbor*, 643, 387-408.
- ROMERO DE PABLOS, A.; SANCHEZ RON, José Manuel (2001), *Energía nuclear en España: de la JEN al CIENMAT*, Madrid, CIEMAT, 301 p.
- RUTENBERG, D. (1939), The early history of the potentiometer system of electrical measurement, *Annals of Science*, 4, 212-243.
- RYAN, J.; NEWMAN, A.R. (1999), *Made to Measure. A History of Analytical Instrumentation. A Guide to the Pittcon Antiquities Museum*, Washington, American Chemical Society.
- RYDER, J.; FINK, D.G. (1984), *Engineers and electrons, a century of electrical progress*, New York, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE), 251 p.
- SAEZ FERNANDEZ, T. (1896-89), *La Escuela Normal de Maestros de Valencia. Monografía Histórica (1845-1870)*, Valencia, Univ. de Valencia.
- SAEZ FERNANDEZ, T. (1889), *La Escuela Normal de Maestros de Valencia. Monografía histórica (1845-1870)*, II., Valencia, Universitat de València, II vols., 289 p.
- SAIZ GONZALEZ, J. (1995), *Propiedad industrial y revolución liberal. Historia del sistema español de patentes (1759-1929)*, Madrid, OEPM.
- SAIZ GONZALEZ, J. (1996), *Legislación histórica sobre propiedad industrial. España 1759-1929*, Madrid, OEPM.
- SAIZ GONZALEZ, J. (1999), *Invencción, patentes e innovación en la España contemporánea*, Madrid, OEPM.
- SANCHEZ RON, J. (ed.) (1998), En torno a la historia del CSIC, *Arbor*, CLX (631-632), 295-439.
- SANCHEZ RON, J. (1999), *Cinzel, martillo y piedra. Historia de la Ciencia en España (siglos XIX y XX)*, Madrid, Taurus.
- SANCHEZ SANTIRO, E. (1998), *Científicos i professionals. La facultat de Ciències de València*, València, Univ. de València.
- SCHAFFER, S. (1983), Natural philosophy and public spectacle in the eighteenth century, *History of Science*, 21, 1-43.
- SCHAFFER, S. (1989), Glass works: Newton's prisms and the uses of experiment. En: GOODING, D. PINCH, T.; SCHAFFER, S. (eds.), *The uses of experiment. Studies in the natural sciences*, Cambridge, University Press, 31-65.
- SCHAFFER, S. (1994), Machine Philosophy: Demonstration Devices in Georgian Mechanics, *Osiris*, 9, 157-182.
- SCHAFFER, S. (1995), Accurate Measurement is an English Science. En: Wise, N., *The Values of Precision*, Princeton, Princeton University Press, 135-172.

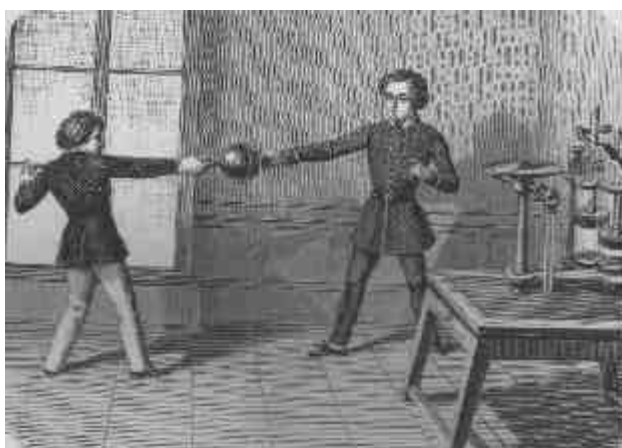


- SCHIELE, B.; KOSTER, Emlyn (eds.) (1998), *La Révolution dans la Muséologie des Sciences*, Lyon, Presses Universitaires de Lyon, 492 p.
- SEBASTIAN, A. (1997), *Abriendo las puertas de la ciencia. Guía didáctica del Museo Nacional de Ciencia y Tecnología*, Madrid, MEC, 47 p.
- SEBASTIÁN, A. (1999) El Museo Nacional de Ciencia y Tecnología de Madrid: una realidad con un gran futuro *Arbor*, 164 (647-648), 445-460.
- SEBASTIAN, A.; JIMENEZ, M. (1999), Learned institutions: sources for unknown scientific instruments, *Nuncius* 14, 491-504.
- SHAPIN, S.; SCHAFFER, S. (1985), *Leviatan and the Air-Pump*, New Jersey, Princenton Univ. Press.
- SHAWLEE, W. (2000), *Aristo Slide Rule Archive, their history and models*.
- SIBUM, O. (1995), Reworking the mechanical value of heat: instruments of precision and gestures of accuracy in early Victorian England, *Studies in History and Philosophy of Science* (26), 73-106.
- SIBUM, O. (2002), Exploring the margins of precision. En: BOURGET, M.N. et al. (eds.), *Instruments, Travel and Science. Itineraries of Precision from the Seventeenth to the Twentieth Century*, London, Routledge, 216-243.
- SIMPSON, T. (1966), Maxwell and the Direct Experimental Test of His Electromagnetic Theory, *Isis*, 57 (190), 411-432.
- SMEATON, W. (2000), Platinum and Ground Glass: Some Innovations in Chemical Apparatus by Guyton de Morveau and others. En: F.L. HOLMES; T.H. LEVERE (eds.), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, 211-239.
- SMITH, C.; WISE, N. (1989), *Energy and Empire. A biographical Study of Lord Kelvin*, Cambridge, Cambridge University Press, 866 p.
- SMITH, R.; TATREWICZ, J.N. (1994), Counting on Invention: Devices and Black Boxes in Very Big Science, *Osiris*, 9, 101-123.
- SNELDERS, H. (1962), Korte Geschiedenis van de Absorptiemetrie, *Chemie & Techniek*, 17 (10), 495-502.
- STOCK, J. (1969), *Development of the Chemical Balance*, London, Her Majesty's Stationery Office, 50 p.
- STOCK, J.; ORNA, M.V. (1986), *The History and Preservation of Chemical Instrumentation :Proceedings of the Acs Division of the History of Chemistry Symposium Held in Chicago...*, Reidel.
- STOCK, J.; ORNA, M.V. (eds.) (1989), *Electrochemistry, past and present*, Washington, American Chem. Soc., 606 p.
- STOCK, J. (1994), The Duboscq Colorimeter and its Inventor, *J. Chem. Educ.*, 71 (11), 967-970.
- SUTTON, G. (1995), *Science for a Polite Society. Gender, Culture and the Demonstration of Enlightenment*, Boulder, Westview Press, 391 p.
- SVIEDRYS, R. (1976), The Rise of Physical Laboratories in Britain, *Historical Studies in the Physical Sciences*, 7, 405-436.
- SZABADVARY, F. (1960), *History of Analytical Chemistry*, Oxford, Pergamon Press.
- TEN ROS, A. (1983), La Física en la Universidad española a fines del siglo XVIII y principios del XIX. La UNiversidad de valencia y su aula de me cánica y física experimental, *Llull*, 10-11, 165-189.
- TEN ROS, A. (1985), La ciencia experimental en la Universidad española de la Ilustración. El laboratorio químico de la Universidad de Valencia: 1787-1807, *Asclepio*, 28, 287-299.
- THACKRAY, A.; MYERS, M. (2000), *Arnold O. Beckman. One Hundred Years of Excellence*, Philadelphia, Chemical Heritage Foundation, 379 p.
- THRING, M. (1951), British Instrument Industries Exhibition - London, 1951, *Journal of Scientific Instruments*, 28, 293-300.
- TURNER, A. (1995), From Mathematical Practice to the History of Science: the Pattern of Collecting Scientific Instruments, *Journal of the History of Collections*, 7, 135-150.
- TURNER, A. (2001), Maurice Daumas: les instruments scientifiques, *La Revue*, 32, 22-32.
- TURNER, G. (1983), *Nineteenth-Century Scientific Instruments*, Berkeley, University of California.
- TURNER, G. (1983), Scientific Instruments. En: P. CORSI (ed.), *Information Sources in the History of Science and Medicine*, London, Butterworths, 243-258.
- TURNER, G. (1983), *Nineteenth-Century Scientific Instruments*, Berkeley - Los Angeles, University of California, 319 p.
- TURNER, G. (1987), Presidential adress. Scientific toys, *British Journal for the History of Science*, 20, 377-398.
- TURNER, G. (1990), *Scientific instruments and experimental philosophy...*, Aldershot, Variorum, 329 p.
- TURNER, G. (1993), *Making instruments count: essays on historical scientific instruments presented to ...*, Aldershot, Variorum, 492 p.
- TURNER, J. (2001), The Archives of Scholars, Collectors, and Dealers: Their Place in the Study of the History of Scientific Instruments. Papers from the XIXth Symposium of the SIC of the IUPHS, *Nuncius*, 16 (2), 677-767.
- VAQUERO, J. (2000), An Old Apparatus for Physics Teaching: Escriche's Pendulum, *The Physics Teacher*, 38, 424-425.
- VARIAN (2001-2002), ... *An Early History*. s.l..
- VEGA GIL, L. (1988), *Las escuelas normales de Castilla-León, 1838-1900*, Salamanca, Amaru.
- VOGEL, S. (1993), Sensations of tone, perceptions of sound and empiricims. Helmholtz's Physiological Acoustics. En: D. CAHAN (ed.), *Hermann von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth-Century Science*, Berkeley, Univ. California Press, 68-89.
- WARD, R. (1980), *The development of the polarimeter in relation to problems in pure and applied chemistry: an aspect of nineteenth century scientific instrumentation*, London, University of London, xxi + 335 p.
- WARNER, D. (1990), What is a scientific instrument, when did it become one, and why?, *British Journal for the History of Science*, 23, 83-93.

- WEBSTER, R. (1964), *An Index of Western Scientific Instrument Makers to 1859, A-B, C-F*, Winnetka, Illinois.
- WEISE, J. (1984), Leybold. En: AA.VV., *Neue Deutsche Biographie*, Berlin, 14, 426-427.
- WHITTAKER, E. (1987), *A History of the Theories of Aether and Electricity. I. The Classical Theories*, New York, Tomash Publisher - American Institute of Physics, 434 p.
- WILKS, P. (1986), The Origins of Commercial Infrared Spectrometers. En: J.T. STOCK; M.V. ORNA (eds.), *The History and Preservation of Chemical Instrumentation :Proceedings of the Acs Division of the History of Chemistry Symposium Held in Chicago...*, Reidel, 27-32.
- WILLIAMS, M. (1994), *The Precision Makers: A History of the Instrument Industry in Britain and France, 1870-1939*, London & New York, Routledge.
- WISE, M. (1988), Mediating Machines, *Science in Context*, 2 (1), 77-113.
- WISE, N. (ed.) (1995), *The Values of Precision*, Princeton, Univ. Press, 372 p.
- WISE, N. (1993) Meditations. "Enlightenment balancing acts, on the technologies of rationalism". En: P. HORWICH. *World changes: Thomas Kuhn and the nature of science*. Cambridge: MIT Press, 207-256.
- WOOLGAR, S. (1991) *Ciencia: abriendo la caja negra*, Barcelona, Anthropos.



Esta guía es una propuesta didáctica que forma parte de los primeros resultados de un plan de trabajo más amplio, dentro del que se pretende reflexionar acerca del papel de los instrumentos científicos antiguos en la enseñanza de las ciencias. Todos aquéllos interesados en participar en este trabajo pueden contactar con los autores a través de las direcciones que se ofrecen a continuación. También nos resultaría muy útil cualquier sugerencia, crítica o comentario sobre estos materiales que aquí se ofrecen con el objetivo de que puedan ser mejorados en el futuro.

**José Ramón Bertomeu Sánchez**

Departament d'Història de la Ciència i Documentació  
Facultat de Medicina  
Blasco Ibañez, 17  
46010-València  
Tf: + 96 3864164  
Fax: + 96 3864091  
[Jose.R.Bertomeu@uv.es](mailto:Jose.R.Bertomeu@uv.es)  
<http://www.uv.es/~bertomeu>

**Antonio García Belmar**

Departament de Salut Pública  
Universitat d'Alacant  
Campus de San Vicente del Raspeig  
Apdo. 99 E-03080 Alacant  
Tfno.+34 96 590 39 19  
Fax +34 96 590 39 64  
[belmar@ua.es](mailto:belmar@ua.es)