



FÍSICA Y CULTURA

Cuadernos Sobre Historia y Enseñanza de las Ciencias



Estudios Epistemológicos
e Históricos de las Ciencias



Universidad
del Valle



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA
1803



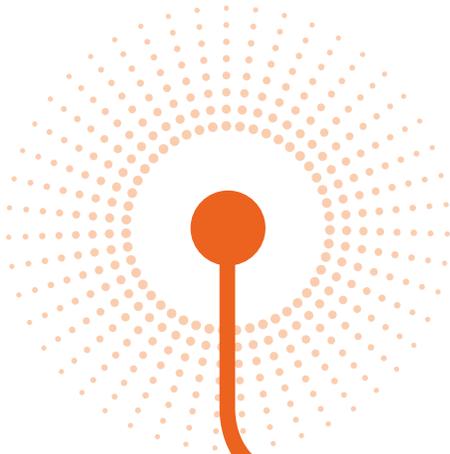
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL

Educadora de educadores

Diciembre - 2015

Nº 9

ISSN: 1313-2143



REVISTA FÍSICA Y CULTURA

Universidad Pedagógica Nacional

Adolfo León Atehortúa Cruz
Rector

María Cristina Martínez Pineda
Vicerrectora Académica

Sandra Patricia Rodríguez Ávila
Vicerrectora de Gestión Universitaria

Universidad del Valle

Iván Enrique Ramos
Rector

Héctor Cadavid
Vicerrector académico

Angela Franco
Vicerrectora de Investigaciones

Renato Ramírez
Director Instituto de Educación y Pedagogía

Jaime Leyva de Antonio
Subdirector de Investigaciones y Posgrados

Universidad de Antioquia

Alberto Uribe Correa
Rector

Arturo Soto Lombana
Decano de la Facultad de Educación

Preparación Editorial

Grupo Interno de Trabajo Editorial
Universidad Pedagógica Nacional

Alba Lucía Bernal Cerquera
Coordinadora Grupo Interno de Trabajo Editorial

Johny Adrián Díaz Espitia
Diseño y diagramación

Andrea J. García C.
Imagen de portada

Comité Editorial

Juan Carlos Orozco
Coordinador Grupo Física y Cultura
Universidad Pedagógica Nacional

Edwin Germán García
Coordinador Grupo Ciencia, Educación
y Diversidad –CEYD–
Universidad del Valle

Angel Enrique Romero
Coordinador Grupo Estudios Culturales Sobre
las Ciencias y su Enseñanza –ECCE–
Universidad de Antioquia

Editor del Número

Edwin Germán García Arteaga

Comité Editorial del Número

Edwin Germán García Arteaga
Henry Giovany Cabrera Castillo
Lisbeth Lorena Alvarado Guzman

Comité Evaluador del Número

Enrica Giordano
Miguel Corchuelo
Mario Quintanilla Gatica
Henry Giovany Cabrera Castillo
Luis Carlos Arboleda
Edwin Germán García Arteaga
Lisbeth Lorena Alvarado Guzman

Comité Científico

Luis Carlos Arboleda
Universidad del Valle, Colombia

Marco Braga
Universidad de Rio de Janeiro, Brasil

Martha Cecilia Bustamante
Universidad de París, Francia

Miguel Corchuelo
Universidad del Cauca, Colombia

Alvaro García
Universidad Francisco José de Caldas, Colombia

Enrica Giordano
Universidad de Milan Bicocca, Italia

Maria Cecilia Gramajo
Universidad de Salta, Argentina

Germán Guerrero
Universidad del Valle, Colombia

Mercé Izquierdo
Universidad Autónoma de Barcelona, España

Antonio Lafuente
Centro de Ciencias Humanas y Sociales, España

Roberto Nardi
Universidad Estadual Paulista, Brasil

Isabel Martins
Universidad Federal de Rio de Janeiro, Brasil

Regino Martínez
Universidad de París, Francia

Juan Carlos Orozco
Universidad Pedagógica Nacional, Colombia

Maria Jose P. M. de Almeida
Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Marco Panza
Universidad de París II, Francia

Michel Paty
Universidad de París, Francia

Mario Quintanilla
Universidad Católica de Chile, Chile

Victor Manuel Rodríguez
Universidad Pedagógica Nacional, Colombia

Oscar Tamayo
Universidad de Manizales, Colombia

Graciela Utges
Universidad Nacional del Rosario, Argentina

Contenido

7-8	Editorial
9	Análisis histórico crítico
13-26	Franklin y la experimentación sobre la conservación de carga. Aportes a la enseñanza de la física. <i>Edwin Germán García, Claudia Bravo.</i>
27-42	Análisis de las estrategias de autorización de mujeres científicas en la Ilustración. <i>Nuria Solsona</i>
43-60	Reflexiones socio - históricas en torno a la dilucidación de la estructura del ADN: Una Experiencia educativa <i>Latorre, B. Pilar, Cortez, R. Leonardo, Aristizabal, F. Andrea</i>
61	Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias
65-80	Autores de la Historia y Filosofía de la Ciencia en la Enseñanza de las Ciencias en América Latina ¿Cuál es su perfil? <i>Mayer Lucía Sánchez Benítez, Marco Braga</i>
81-94	Representações de futuros professores de física sobre o uso da história da ciência em aulas de física no ensino médio <i>Maria José P. M. de Almeida, Cassiano Rezende Pagliarini</i>
95	Estudios epistemológicos
99-116	Naturaleza y estructura de las teorías científicas: el enfoque semanticista o modelista. <i>Germán Guerrero Pino</i>
117	Traducción de originales
121-140	Calor específico, calor latente, del vapor y la vaporización. <i>J. Francisco Malagón y M. M. Ayala</i>
141-158	Memoria sobre el calor por MM. Lavoisier y De Laplace. <i>Marina Garzón Barrios</i>
159-164	Reseñas de tesis
165-168	Noticias
169-174	Biografía de los autores
175-178	Política editorial

Editorial

La revista Física y Cultura Cuadernos sobre Historia y Enseñanza de las Ciencias con el presente número consolida su transformación como una publicación interinstitucional. Éste pretende continuar aportando al reconocimiento y fortalecimiento de las investigaciones y reflexiones sobre la relación entre Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias, así como contribuir a la consolidación de la comunidad académica en esta área de investigación que cada vez es más reconocida a nivel nacional e internacional por sus importantes aportes en la formación de profesores y en la enseñanza de las ciencias Naturales. Al respecto, es importante resaltar que las crecientes publicaciones y congresos sobre Historia Filosofía y Enseñanza de las Ciencias (HFEC) muestran su importancia y actualidad, pues ésta se ha convertido en parte sustantiva de la Didáctica de las ciencias. Si revisamos el porqué de esta tendencia, encontramos que ella ha hecho aportes significativos a uno de los problemas centrales de la enseñanza de las ciencias, el qué enseñar. El qué, no es la pregunta por el contenido, ni los temas, ni las formas, sino por la actividad científica misma. ¿Qué enseñar de la actividad científica? Es aquí donde los estudios históricos y epistemológicos aportan a la actividad docente.

Para algunas corrientes de pensamiento la actividad científica se reduce al producto decantado del ejercicio intelectual, expresado en términos de principios, leyes y teorías científicas; visto de esta manera, entonces el qué se expresa en la enseñanza de los principios, las leyes y las teorías. Tradicionalmente es lo que se hace. Las investigaciones de las últimas décadas en Didáctica de las ciencias, han demostrado con innumerables estudios de

caso las dificultades que evidencian los estudiantes para comprender la actividad científica como el producto de la ciencia.

Otras corrientes de pensamiento consideran la actividad científica desde las preocupaciones que motivaron al científico, el contexto de sus intereses y sus métodos o formas de aportar conocimiento. Las preocupaciones implican aspectos ideológicos, fenomenológicos y circunstanciales, los contextos están determinados por los conflictos y posturas conceptuales y los métodos por la manera como hace, presenta y valida sus resultados. Estas corrientes apoyadas en los estudios sociológicos han encontrado amplia resonancia en la comunidad de didáctica de las ciencias. La HFEC se convierte así en una fuente inagotable de posibilidades que le permiten al docente hacer propuestas de enseñanza relacionadas con estas corrientes de pensamiento.

Los artículos seleccionados para el presente número de la revista se identifican con dichas corrientes de pensamiento y se exponen a través de estudios de caso, estudios epistemológicos y propuestas de formación de profesores de la siguiente manera: Desde los análisis histórico- críticos se presentan tres artículos; el primero resalta el papel de la experimentación en los trabajos sobre electricidad realizados por Benjamin Franklin, particularmente el trabajo realizado con la botella de Leyden que se convierte en un organizador de la exploración sobre el principio de conservación y el carácter dual de la carga, posteriormente se hacen aportes para ser tenidos en cuenta en la enseñanza de la electricidad; Desde el análisis de las estrategias de autori-



zación de mujeres científicas en la Ilustración se rescata el trabajo práctico de Laura Bassi y Mariangela Ardinghelli, en el siglo XVIII en el campo de la electricidad a través del estudio de cartas de Abbe Nollet, es importante resaltar el valor del trabajo de estas mujeres que tenían acceso a la actividad científica en Italia; Por último se presenta una experiencia educativa en torno a la estructura del ADN en donde se resalta la reconstrucción socio histórico como una forma de transformar la imagen tradicional de la ciencia que poseen los estudiantes de educación básica y media. Las interpretaciones sobre los roles, las tensiones y actitudes de los protagonistas de la ciencia sirven para mostrar la ciencia como algo más que un producto incuestionable.

Por otro lado, desde los estudios sobre historia, filosofía y enseñanza de las ciencias, se presentan dos artículos que se enmarcan en la relación entre la HFC y la formación de profesores: el primero realiza un reconocimiento de los profesores en América Latina que hacen uso de la Historia y la Filosofía de las Ciencias con el fin de contribuir a la caracterización y comprensión de la misma en la enseñanza de las ciencias; el segundo artículo centra su atención en el cambio de representaciones sobre la función de la historia de las ciencias en el aula de clase de enseñanza media, que se espera lograr en la formación inicial de profesores de física de primer año. Para el análisis de los textos producidos por los estudiantes en formación inicial, se recurre al análisis del discurso y los trabajos desarrollados por Michel Pêcheux y se espera ampliar la investigación sobre la construcción de significados en la formación inicial.

Desde los estudios epistemológicos, se incluye en este número un artículo sobre la naturaleza y estructura de las teorías científicas., esta reflexión se hace desde un enfoque modelista o semanticista, es decir, se pretende mostrar como para la enseñanza de las ciencias este enfoque es más apropiado que

el sintáctico. El primero presenta las teorías científicas como idealizaciones que representan el mundo, en diferencia con el último que las entiende como descripciones del mismo.

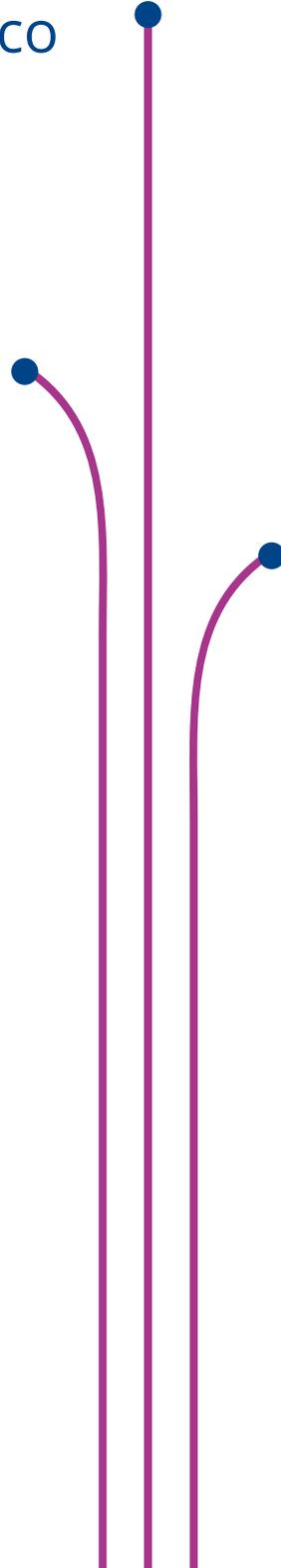
Para finalizar se presentan dos traducciones de textos originales sobre el calor, el primero es una traducción de Joseph Black sobre Calor, Calor latente, del vapor y la vaporización y la segunda traducción es el texto de Lavoisier y Laplace: Memoria sobre el Calor. Es importante resaltar que estas traducciones tienen un fin educativo, es decir, su intención es el acercamiento de los profesionales de la educación a fuentes primarias en la búsqueda de un diálogo que permita realizar una recontextualización de los conocimientos científicos y avanzar hacia propuestas alternativas en el aula de clase.

Igualmente, en este número se abre un espacio para la publicación de reseñas de tesis de maestría y doctorado, que aportan elementos de reflexión en esta línea de investigación. Además al inicio de cada una de las secciones de la revista se incluye una imagen, como una provocación al lector: La templanza de P. Brueghel; El experimento de un pájaro en la bomba de vacío de J. Write; "Galacidalacidesoxyribonucleicacid" de S. Dali y el astrónomo de J Van Delft. Cada una de ellas muestra esa estrecha relación entre ciencia y sociedad y como los conceptos científicos traspasan los límites del laboratorio y se reconocen como formas de comprender y hacer inteligible el mundo, rompiendo con el antagonismo histórico entre ellas.

Se espera que el contenido de la revista impacte a la comunidad académica e investigativa, le permita reflexionar y transformar su quehacer y abra nuevos espacios y posibilidades de orientación de la investigación en Enseñanza de las Ciencias Naturales.

Editores del número.

Análisis histórico crítico





VIDENDVM, VT NEC VOLVPTATI DED
APPAREAMVS, NEC AVARA TENACITATI



ITI PRODIGI ET LVXVRIOSI
SORDIDI AVT OB^SCVRI EXISTAMVS



La Templanza de Pieter Brueghel (1560).

Franklin y la experimentación sobre la conservación de carga. Aportes a la enseñanza de la física

Franklin and experimentation about the conservation of charge. Contributions to the teaching of physics

Edwin Germán García

Universidad del Valle

edwin.garcia@correounivalle.edu.co

Claudia Bravo

Universidad del Valle

claudia.bravo@correounivalle.edu.co

Resumen

Los estudios históricos sobre la ciencia han posibilitado la reflexión sobre su enseñanza. Si bien el electromagnetismo como objeto de estudio ha sido central en la enseñanza de la física, se aprecia que aún se identifican las dificultades de los estudiantes por comprender los fenómenos asociados a la electricidad y comprender los conceptos implícitos en ella. Así pues, se hace relevante avanzar en un estudio histórico y epistemológico sobre la electricidad que brinde posibilidades al docente de hacer procesos de intervención en el aula para promover la construcción de explicaciones y la organización de la experiencia en sus estudiantes. En este artículo se hace un estudio de los escritos originales de Benjamín Franklin en torno a la electricidad, con lo que se pretende recoger las actividades experimentales que realizó en torno al principio de conservación de carga y el comportamiento dual de la electricidad, particularmente los realizados con la botella de Leyden. Posteriormente se hacen sugerencias para ser tenidas en cuenta en la enseñanza del electromagnetismo desde una perspectiva constructivista.

Abstract

Historical studies of science have made it possible to reflect on their teaching. While electromagnetism as a study has been central to the teaching of physics, it shows that even the students' difficulties are identified to understand the phenomena associated with electricity, and even more, to understand the concepts implicit in it. Thus, it is important to advance a historical and epistemological study on electricity to provide opportunities for teachers to make intervention processes in the classroom to promote the construction of explanations and the organization of experience in their students. This paper presents a study of the original writings of Benjamin Franklin about electricity, which is to collect experimental activities conducted on the principle of conservation of charge and the dual behavior of electricity is made, particularly those made with the Leyden jar. Subsequently suggestions to be taken into account in teaching from a constructivist perspective electromagnetism are made.



Palabras Clave

Historia de las ciencias, originales, B. Franklin, conservación de carga, enseñanza de la electricidad.

Key Words

History of science, original, B Franklin, conservation of charge, teaching electricity.

Introducción

La Didáctica de las ciencias como disciplina que estudia los problemas relacionados con la enseñanza y el aprendizaje en el aula, ha aportado aspectos relevantes asociados a los problemas del aprendizaje sobre la electricidad (Viennot 2002). Los resultados manifiestan que los estudiantes evidencian dificultades en la comprensión misma de los fenómenos abordados, presentan dificultades en la manipulación y explicación de aparatos o instrumentos y falta de capacidad para aplicar los conceptos aprendidos. Dificultades que se traducen en adelante en apatía y predisposición para el aprendizaje de las ciencias y en particular de la física, por lo que terminan por considerar que el asunto de las ciencias es irrelevante y carente de sentido para sus vidas (Driver 1983).

Las propuestas que han surgido para incidir en los procesos de enseñanza - aprendizaje y aportar en las dificultades mencionadas, provienen en gran medida del enfoque constructivista. El uso de la historia de las ciencias desde un enfoque sociocultural, es un recurso que ha posibilitado la construcción de elementos significativos para la enseñanza de las ciencias, pues permite identificar situaciones, problemas, episodios experimentales y modelos explicativos de los científicos en sus escritos originales que se pueden utilizar para realizar propuestas alternas de enseñanza a través de la recontextualización de saberes, esto es, recoger dichas problemáticas y actividades experimentales de los científicos y ponerlos en un nuevo contexto, el contexto de la enseñanza en el aula

Por otra parte, es una práctica común en la enseñanza utilizar libros de texto como guías, referentes o en el peor de los casos remplazo del docente (física general, física fundamental...). Si estudiamos con detenimiento estos libros, encontramos que con ellos se puede identificar el tipo de enseñanza que orien-

tan; su estructura y organización, los contenidos, las definiciones, los ejemplos propuestos y los experimentos sugeridos son algunos indicadores.

¿Cuál es el modelo de enseñanza que se identifica en los textos de uso frecuente en los programas de formación inicial de docentes? la respuesta se encuentra en la concepción de ciencia que los orienta. Veamos un caso para el tema de la electrostática.

La electrostática en los textos de enseñanza

La forma como algunos libros de texto presentan en términos generales la electrostática, suele ser muy similar. Usualmente se parte de algunas definiciones como carga eléctrica, estructura eléctrica de la materia, conductores y aislantes, inducción eléctrica, ley de Coulomb, líneas de fuerza, potencial electrostático, fuerza eléctrica y campo eléctrico, ligados a sus respectivas formulaciones matemáticas, útiles para solucionar problemas numéricos. Se aprecia una ausencia notoria de la actividad experimental, reducida básicamente a frotación de los cuerpos y conducción con el electroscopio. Además el uso de la historia de las ciencias no es considerado, ni por lo menos para contextualizar la temática. Lo anterior, en palabras Moreira(1986) se concreta en que:

“En los libros de texto es posible observar que las teorías aparecen como estructuras acabadas, presentando los fenómenos y leyes y sus expresiones matemáticas de acuerdo con rigurosos criterios lógico deductivos. Presentar a las estudiantes una serie de postulados y a partir de ahí “inferir” la teoría - como si fuese una rama de las matemáticas - no significa que éstos comprendan los fenómenos que esa teoría explica”

El principio de conservación de carga, importante para la comprensión de fenómenos eléctricos pasa inadvertido en algunos textos,

pues ni siquiera la mencionan, y otros apenas la definen como *“la cantidad de carga eléctrica de un sistema aislado es constante, esto equivale a decir que la carga eléctrica se redistribuye de un cuerpo a otro, pero ni se crea ni se destruye”*. Lo anterior muestra una concepción de ciencia y el carácter de la comunicación que se aprecia en el texto, dogmática, afirmativa, objetiva e incuestionable. Los resultados de investigaciones en este sentido (Guisasola 2009) (García 2011) identifican las explicaciones de los estudiantes muy similares a las que presentan los textos, esto es, afirmativa y verdadera pero sin comprensión de los fenómenos estudiados, sin claridad ni aplicación de los conceptos y con un desconocimiento de la experimentación asociada.

La Actividad Experimental

La importancia de la experimentación en la construcción misma del conocimiento científico y no como agregado subsidiario de los modelos teóricos fue un llamado de atención a la filosofía de la ciencia. La manera de presentar los experimentos no debe ser solamente descriptiva o narrativa para reforzar el papel de las teorías, sino que debe avanzar hacia la caracterización de experimentos que involucren problemáticas y que tengan una riqueza conceptual en sí mismos, o como dice Hacking (1983):

Que la experimentación tenga vida propia”. Esto es, crear necesidades donde el experimento “hable” y se comunique, crear situaciones específicas donde la naturaleza se “despliegue” y muestre comportamientos. (p 127)

Gran parte de los estudios recientes en filosofía de la ciencia sobre la actividad experimental se fundamentan en estudios de caso, donde filósofos historicistas como Hacking (1983), Galison (1987), Pickering (1995), Heilbron (1979), Gooding, Pinch y Schafer (1989), Steinle (2002), Franklin (2002) y Martínez

(2003) entre otros, muestran con evidencias el papel que ha jugado la experimentación en la construcción del conocimiento científico. Por ejemplo, Heilbron (1979) en sus análisis históricos sobre electricidad afirma que este juego exploratorio posibilitó la distinción entre materiales conductores y no conductores. En los estudios de Steinle (2002), la simple variación de lugar de la aguja respecto al hilo en el experimento de Oersted, planteaba dificultades al enfoque de Newton-Laplace de fuerzas centrales. El resultado de estos trabajos pone en evidencia que no necesariamente la experimentación debe tener un papel subsidiario. En este sentido M. Iglesias (2004) encuentra que:

Cuando se asume la perspectiva de estudios de casos, se encuentra que no es la teoría la que siempre ha guiado la ciencia, que la relación entre teoría y experimento ha sido diversa y no unitaria como han querido mostrarnos la historia y la filosofía de la ciencia. (p 23)

Esto pone en evidencia que la función del “teoreticismo” está en reducir la riqueza y la complejidad del proceder científico a un asunto de mera elaboración conceptual, dejando de lado la riqueza de conocimiento que se esconde detrás de las prácticas experimentales. El giro hacia la práctica en filosofía de la ciencia obliga a que los temas de racionalidad, objetividad, verdad y mundo dejen de ser tratados desde la teoría, y a que se redefinan nuevos problemas filosóficos, promoviendo así una nueva imagen de la ciencia.

En la propia experimentación es importante distinguir entre experimentos cualitativos y cuantitativos o experimentación exploratoria y experimentación guiada. La experimentación cualitativa, que suele estar presente en las primeras fases del desarrollo de una ciencia, no es menos valiosa que los experimentos cruciales (experimentación cuantitativa guiada) en la estructuración de la ciencia este tipo de experimentación resulta interesante desde

el punto de vista epistemológico porque permite caracterizar la edad temprana de una ciencia. Para la escuela positivista, los experimentos cuantitativos eran el referente de las investigaciones para describir los procesos de elaboración de teorías científicas a partir de mediciones y datos cuantitativos precisos, fue esta versión simplificada del método científico la que llevó a borrar del mapa la experimentación cualitativa. Al respecto Ordóñez & Ferreirós (2002) sostienen que:

Al menos en física, los experimentos cualitativos han sido una parte fundamental de los procesos de formación de conceptos (procesos de formación de datos). Por ejemplo, los experimentos cualitativos en electromagnetismo desempeñaron, desde el primer resultado de Oersted en 1820, un papel fundamental en la elaboración de nociones como líneas de fuerza y campo. Oersted y el propio Faraday trabajaron de manera más intuitiva y directa, modelando sus concepciones según algunos rasgos fenomenológicos (o fenomenotécnicos) que surgían directamente de los experimentos que realizaron y como resultado del experimento, el modelo fenoménico es refinado, acomodado y especificado con mayor precisión. (p 42)

El caso de Faraday es llamativo para los filósofos historicistas porque han encontrado que sus trabajos fueron una genuina base experimental; los experimentos eran creados, los aparatos se diseñaban y se construían para producir y evidenciar efectos deseados. También, implica tomar en cuenta otros factores que intervienen en el quehacer científico, como el anclaje material, la interacción humana, las relaciones con las administraciones, etc. Aunque no son totalmente independientes estos factores, inciden de forma distinta y en mayor o menor grado en la dinámica interna de la ciencia, lo que hoy en día hace referencia a la fenomenotecnia. (Estany, 2007). Por tanto, el debate que se ha planteado en las últimas décadas en filosofía e historia de la ciencia no es en torno a si los

científicos han realizado experimentos en sus investigaciones, sino más bien en la interpretación de los mismos y en su relación con los modelos teóricos.

Para establecer el equilibrio Estany (2007) sugiere una interacción entre ambas; teoría y experimentación, donde la una no sea subsidiaria de la otra sino que se complementen mutuamente. Para ello, es necesario replantear las formas de representar el conocimiento, donde la denominación de “práctica científica” (que hace referencia a la actividad de los científicos) no esté determinada sólo por el producto (teorías) sino también por el proceso de dicha actividad. Finalmente, debemos reconocer que la nueva imagen de ciencia está orientada por una relación entre la teoría y el experimento mucho más profunda y con mayor riqueza conceptual de la que la mayoría de los filósofos e historiadores han mantenido hasta el momento (García 2014).

Reconocer entonces, la importancia y la validez de las prácticas experimentales en la constitución de la ciencia, su función independiente de la teoría o en equilibrio con ella e identificar que el papel que usualmente se le ha otorgado va más allá de ser verificador, demostrativo o definidor entre teorías rivales, constituye un nuevo fundamento de este campo de investigación de la filosofía de la ciencia.

El contexto de la electricidad antes de Franklin

Desde la antigüedad ha existido el interés por comprender los fenómenos atractivos entre objetos; el ámbar es tal vez del que más se tiene noticia. En la edad media W. Gilbert escribió un libro donde sistematizaba todas las experiencias al respecto; diferenció entre objetos eléctricos y no eléctricos, identificó los metales como malos para conservar la electricidad e inventó el versorium para registrar los efectos de objetos electrificados.

Con Hauksbee y Gray hacia 1600 se consolida la actividad experimental y el diseño de aparatos para reproducir efectos. Se identifica la repulsión eléctrica y se establecen los mecánicos de comunicación por conducción y por inducción. Los modelos explicativos a tales hechos experimentales consideraban la electricidad como un fluido que se comportaba de forma similar a los demás fluidos, se propagaba y podía ser conservado durante mucho tiempo.

Fue precisamente considerando la electricidad como fluido que en la histórica ciudad de Leyden, Muschenbroek inventa la botella que llevaría el nombre de su ciudad natal y en la que logra almacenar la electricidad y mantenerla por algún tiempo. Una sencilla botella de vidrio es cubierta por una lámina metálica en su parte exterior y dentro se ubica una varilla, también metálica, aislada por un trozo de corcho en la parte superior de la botella. Al acercar un cuerpo electrificado a la varilla ésta comunica la electricidad al fondo de la botella, al repetir el proceso varias veces, es posible entonces almacenar la electricidad de acuerdo con la capacidad misma de la botella.

Charles Dufay es el primero en caracterizar y sistematizar la repulsión eléctrica. La resistencia de los teóricos de la época a aceptar la repulsión eléctrica era bastante influyente para las orientaciones experimentales. Por lo tanto no había mayor credibilidad en las experiencias de Hauksbee y Gravesande al respecto. Dufay encuentra que cuando un cuerpo es frotado, atrae cuerpos livianos en su vecindad, como lo consideraban en la antigüedad, pero a diferencia de ellos, identifica que una vez que el cuerpo liviano (detector) entra en contacto aparece entre ellos una fuerza de repulsión, debido al contacto. Dufay lo expresa así en Cid (1977):

“Al ser atraído por un eléctrico frotado y entrar en contacto con éste, cualquier otro objeto quedaba a su vez electrificado y aparecía una fuerza de repulsión entre ellos”

Se aprecia con esta interpretación como Dufay asume (tal vez sea el primero) que el otro objeto (detector) queda electrificado. Ya no es un objeto neutro, que simplemente es atraído, ahora se considera como un objeto electrificado que interactúa con otro objeto electrificado. Esta es realmente una nueva manera de ver la atracción; antes se consideraba que la electrificación la poseía el cuerpo frotado, y el cuerpo que servía de detector carecía totalmente de electrificación, ahora la atracción es posible si están los dos cuerpos electrificados. Por otra parte, si acercamos un objeto frotado a otro que no lo ha sido, el efecto es de atracción, pero si hay contacto entre ellos el efecto es de repulsión. Si se acerca por ejemplo vidrio frotado, a una pequeña esfera metálica suspendida de un hilo de seda, el metal evidencia electricidad debido a la presencia del vidrio, pero al entrar en contacto las electrificaciones interactúan produciendo repulsión. El considerar la repulsión con un efecto debido a la electricidad es un aspecto que consideramos fue fundamental para Dufay, por que abrió un nuevo tipo de experiencias.

La experimentación en Franklin

El contexto anterior muestra el enorme desarrollo experimental que tuvo la electricidad. Franklin, que por entonces tenía cercanía con Inglaterra, reconoce la actividad científica y el desarrollo de la electricidad, decide conseguir algunos aparatos e instrumentos para realizar actividad experimental, particularmente reconoce la botella de Leyden, con la cual inicia sus experimentos y observaciones. Posteriormente refuta la tesis de las dos electricidades y argumenta su propia tesis de que la electricidad solo es un fluido eléctrico y que éste se conserva en la botella de acuerdo con un principio o ley natural constante.

¿Pero, qué le lleva a Franklin a proponer su tesis del fluido único?

Vamos a considerar las experiencias realizadas, los hechos registrados y la organización que hace de los experimentos para demostrar que no existen dos fluidos eléctricos como sostenía Dufay sino uno.

Al revisar los escritos originales de B. Franklin sobre electricidad, particularmente su libro “Experimentos y Observaciones sobre electricidad” escrito en 1747 encontramos que la actividad experimental realizada por él nos muestra un amplio campo de posibilidades con las que contamos para propiciar transformaciones en las formas de comprender los fenómenos electrostáticos y contribuir de forma más significativa y relevante a la enseñanza y aprendizaje de dichos conceptos. Se estudiaron las cartas a Peter Collinson, donde describe la actividad experimental que lo lleva a la noción de conservación de carga. En dicho análisis se destaca los experimentos con la botella de Leyden, los modelos explicativos a sus hallazgos y las preocupaciones e intereses que según nuestro criterio fueron fundamentales en la construcción del principio de conservación de la carga eléctrica y el comportamiento dual de la electricidad.

De este proceso se deriva la recontextualización de la actividad experimental de Franklin a partir de preguntas, situaciones y actividades que permitan el diseño y creación de nueva experimentación para orientar procesos de enseñanza de la física y así construir, socializar y validar un conocimiento significativo sobre los fenómenos electrostáticos en el aula.

Experimentos con la botella

a) efectos atractivos y repulsivos

Los fenómenos de atracción y repulsión conocidos y estudiados ampliamente fueron replicados por Franklin utilizando la botella de Leyden. En uno de sus experimentos Franklin sugiere colocar una botella de Leyden sobre cera (aislante) y cargarla eléctricamente con un material frotado (figura 1). Una vez la botella esta electrificada, sugiere acercar una pequeña bola de corcho (conductor) suspendida por un hilo de seda seco (aislante) a la parte superior de la botella (el cable). Observe que la bola de corcho primero es atraída y luego repelida. En este estado (repulsión) baja la bola de corcho hasta que llegue al fondo de la botella (el vidrio) y encuentra que “ésta es

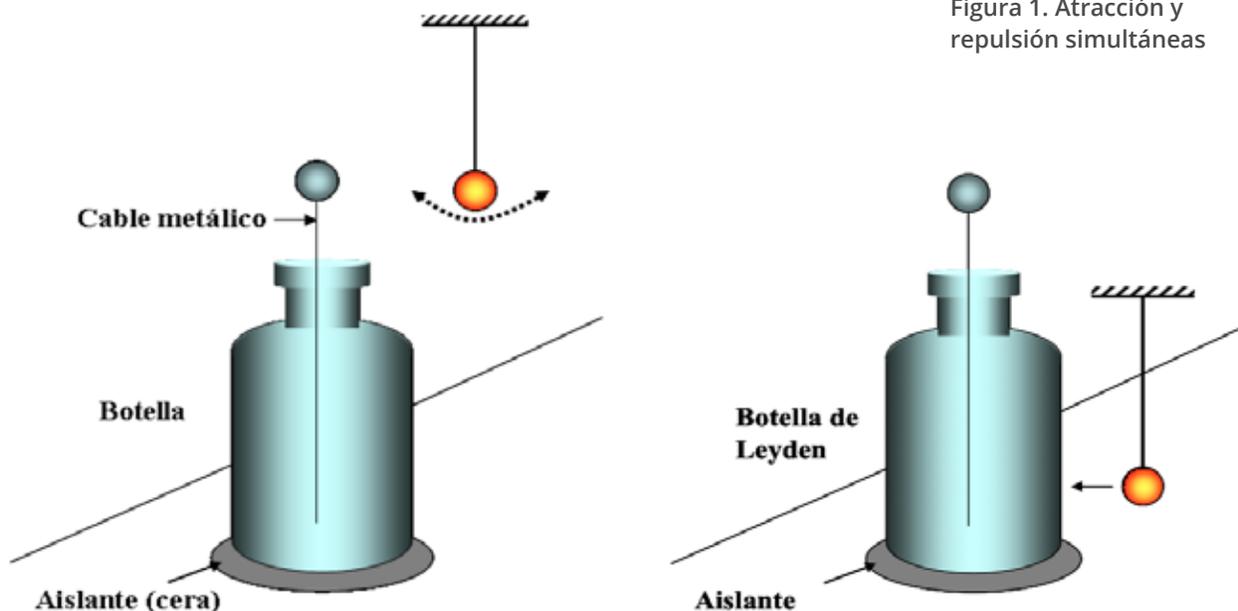


Figura 1. Atracción y repulsión simultáneas

instantánea y fuertemente atraída” y así sucesivamente hasta que se pierde la electricidad.

Analizamos de la experiencia que se desprenden dos comportamientos; uno para el cable y otro para el fondo de la botella. Si la botella está electrificada totalmente, tanto el cable como el vidrio evidencian dicha electrificación, pero dicha evidencia es diferente en ambas cuando se acerca el corcho. Por una parte se observa atracción y repulsión del corcho al acercarse al cable, mientras que en el fondo (vidrio) solamente se observa atracción del corcho. Esto pone de manifiesto que el comportamiento eléctrico tanto del cable como el del fondo de la botella no son los mismos, a pesar que la botella fue electrificada íntegramente. Para Franklin, el cable está electrizado positivamente (más), lo mismo el corcho cuando presenta la repulsión, mientras que el fondo de la botella (vidrio) está electrizado negativamente (menos) por lo que se observa atracción. En este sentido él mismo valida la afirmación relacionada con cargas iguales que se repelen y cargas contrarias que se atraen, pero quiere demostrar que en la botella no hay dos electricidades diferentes, sino una misma expresada en cantidades diferentes (más y menos). La pregunta que seguramente se hizo Franklin fue, si la botella se descargó por completo, para donde se fue la electrificación?

De la experiencia se infiere que tanto la botella como el cable se encuentran electrificados, pero notemos que hay dos efectos al acercar el corcho al cable; en principio se observa atracción, pero luego hay repulsión. ¿Cómo dar cuenta de este doble efecto? El estado de electricidad del cable se comunica al corcho quedando éste electrificado, los dos cuerpos poseen igual estado de electricidad (más), produciéndose la repulsión entre ellos. Si en este mismo instante se baja el corcho hasta la parte inferior de la botella, se observa que es fuertemente atraído por ella y el corcho pierde su electricidad. Esto

es posible si el corcho y la botella manifiestan diferente estado de electricidad, el corcho más y la botella menos. Pero, ¿por qué se pierde la electricidad en el corcho? El corcho se encuentra en un estado eléctrico que cuando se acerca o pone en contacto con el fondo de la botella la electrificación es totalmente comunicada a ésta esto va a depender de la naturaleza de los materiales, algunos son buenos para comunicar la electricidad (corcho) y otros no son tan buenos.

La botella de Leyden como sistema (cable y vidrio) se encuentra electrificada, pero manifiesta en sí misma dos estados de electrificación, más o positivo para la parte superior y menos o negativo para la parte inferior, los efectos que se observan entre estos dos estados es de atracción cuando son diferentes y repulsión cuando son iguales. ¿Cómo pueden coexistir los dos estados en una misma botella? Para Franklin la electrificación es una sola, pero se manifiesta en dos estados; positiva y negativamente y *“estos dos estados se encuentran combinados y equilibrados”*. Los cuerpos poseen la propiedad eléctrica, donde los dos estados coexisten, pero el estado general de electrificación es nulo, solo se manifiestan cuando el cuerpo es afectado eléctricamente.

Hoy en día la teoría del fluido único de Franklin ha sido revaluada, y se mantiene los dos estados eléctricos (vítreo y resinoso) en los planteamientos de Maxwell, sin embargo se suele enseñar en la física la electricidad como fluido único, sobre todo cuando se hace alusión al movimiento de los electrones. Lo importante de este trabajo no está en la dirección de defender o cuestionar la teoría de Franklin, sino de rescatar la actividad experimental que permitió construir el concepto de conservación de la carga.

b) Cantidades iguales de electricidad

En la siguiente experiencia Franklin suspende hilo de lino (Conductor) de un soporte con forma curva (aislante) cerca de una botella de

Leyden previamente electrificada (figura 2). Franklin observa que al tocar la botella por la parte superior (cable) con el dedo, en cada toque, el hilo de lino es instantáneamente atraído por la parte inferior de la botella (vidrio). Lo repite sucesivas veces hasta que la botella se descarga por completo. Argumenta que tan pronto como se saca algo de “fuego eléctrico” desde la parte superior de la botella tocando el cable, de la parte inferior de la botella sale una cantidad igual por el hilo. ¿Cómo puede llevar a esta afirmación?

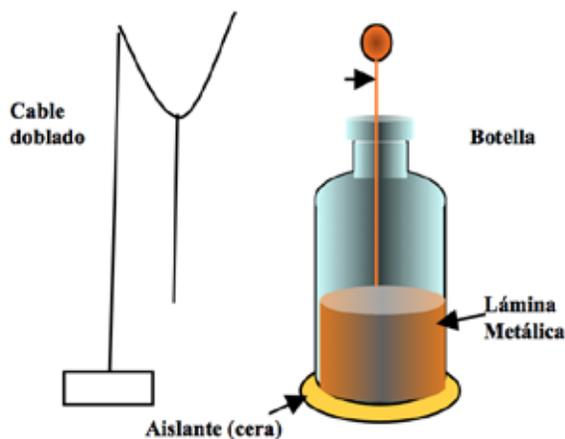


Figura 2. Atracción como indicio de cantidades iguales de electricidad

Llama la atención en esta experiencia el efecto de atracción que experimenta el hilo de lino con la parte inferior de botella (vidrio) en el momento mismo que se toca con el dedo la parte superior (cable). Para Franklin esto muestra que la cantidad de fuego eléctrico que sale del fondo de la botella es la misma que la que sale por la parte superior. ¿Por qué afirmar que las cantidades son iguales? Según Franklin, para que exista atracción, el lino deberá estar electrificado de forma positiva y ésta se da electrificación que adquiere por la atmósfera eléctrica que rodea la botella (inducción), ahora bien, como en cada toque el hilo es instantáneamente atraído por la botella, entonces el fuego eléctrico transmitido por el hilo debe ser igual al

que salió por el cable, solo así podrá mantenerse la atracción en cada toque.

Decir que las cantidades son iguales solo es posible si en cada toque el hilo pierde su fuego eléctrico (descarga) y recupera su posición inicial. Al hacerse repetidamente este ejercicio se terminará por descargar totalmente la botella.

c) Equilibrio eléctrico

Franklin forra la parte inferior de una botella con una delgada lámina de plomo, luego la conecta a un alambre (conductor) que va hasta la parte superior de la misma. Electrifica la botella colocándola sobre cera y luego entre el alambre y el cable de la botella coloca un corcho suspendido por un hilo de seda (figura 3). Franklin observa que el corcho oscila entre el alambre y el cable de la botella, cesando este movimiento en el momento en que la botella ya no se encuentra electrificada.

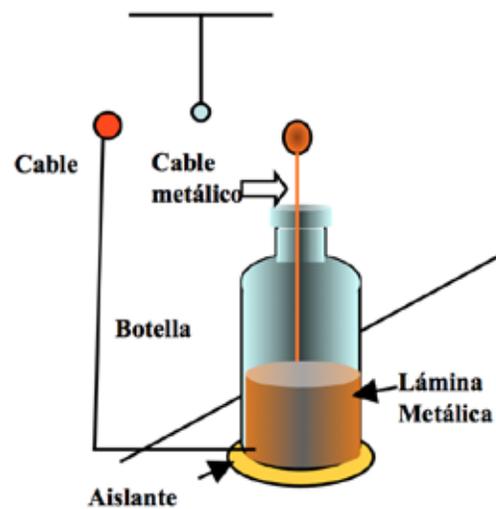


Figura 3. Experimento sobre equilibrio eléctrico

Para Franklin es claro que, de acuerdo con las experiencias anteriores, el cable de la botella electrifica al corcho con la misma condición eléctrica (mas), produciéndose la repulsión, pero el alambre que es una prolongación de la parte inferior (menos) genera atracción, por consiguiente termina por anulándose la electrificación entre ellos. Al repetirse las

oscilaciones entonces entonces se descarga la botella. Es interesante analizar el comportamiento de la botella en estas condiciones, la parte superior (cable) se descarga al tocar el corcho, pero luego recupera su electrificación, ¿cómo logra suceder esto?, para Franklin hay una comunicación de la electrificación entre la parte inferior (menos) y la parte superior de la botella (mas), permitiendo que la electrificación se restablezca. Lo que quiere demostrar es que las cantidades son iguales y mantiene un equilibrio entre ellas, si una parte se descompensa, la otra comunica electrificación para conservar el equilibrio. Las oscilaciones sucesivas del corcho, manifiestan sucesivos momentos de equilibrio hasta que el fuego eléctrico se acaba.

d) Conservación de la carga eléctrica

Después de las experiencias anteriores Franklin tiene todo elaborado para proceder a realizar el experimento clave con el que determinará que la electricidad es algo que se conserva. Coloca cerca de la botella electrificada un alambre (conductor) doblado en forma de C y sostenido por un soporte de laque (aislante), de tres formas diferentes:

- Pone en contacto un extremo del cable C con el fondo de la botella y con el otro extremo se aproxima gradualmente al cable de la botella (figura 4 a). Observa que se presentan entre el cable de la botella y el alambre una serie de chispas sucesivas hasta que se reestablece el equilibrio.
- Luego pone en contacto un extremo del cable C con el cable de la botella y con el otro extremo se aproxima al fondo de la botella (figura 4 b). Observa que se presenta una corriente de "fuego eléctrico" tipo descarga entre el alambre y el fondo de la botella.
- Finalmente, pone en contacto simultáneamente la parte superior (cable) e inferior (vidrio) de la botella con el cable C

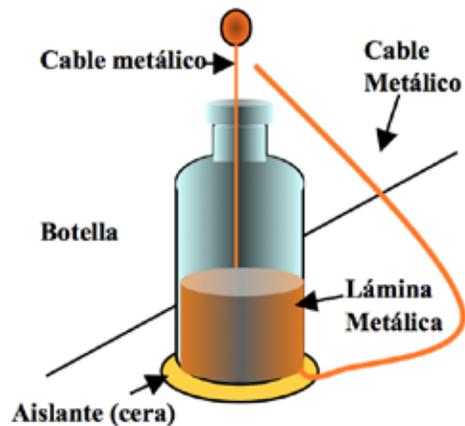


Figura 4 a. Experimento sobre conservación de carga 1

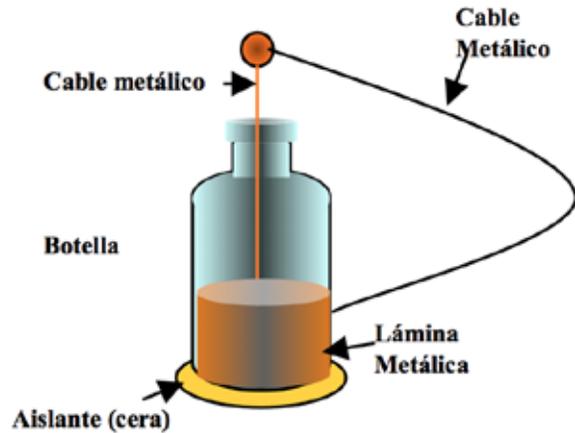


Figura 4 b. Experimento sobre conservación de carga 2

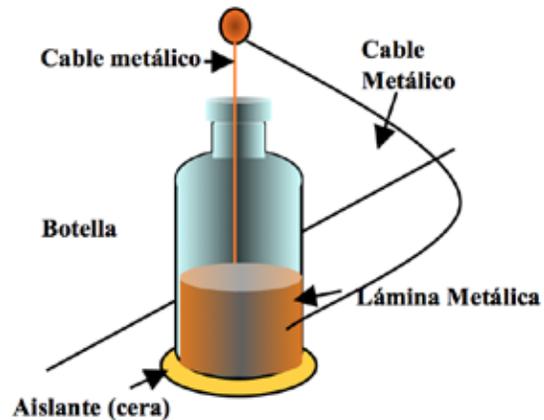


Figura 4 c. Experimento sobre conservación de carga 3

(figura 4 c). Observa que el equilibrio se restablece rápidamente de forma silenciosa e imperceptible.

Al observar que entre el cable de la botella y el extremo del cable C hay sucesivas chispas eléctricas y como consecuencia de ello la botella se descarga, entonces podemos decir que el cable C al estar en contacto con la parte inferior de la botella adquiere electrificación positiva al igual que lo hace la parte del cable de la botella. Luego si se al acercarse gradualmente el otro extremo del cable C a la parte del cable de la botella se encuentra que estos dos tienen la misma condición eléctrica (mas), por lo tanto la electrificación entre ellos se anula como consecuencia de la chispa, descargándose lentamente y por completo la botella.

Cuando se pone en contacto el extremo del cable C con el cable de la botella, y el otro extremo se aproxima a la parte inferior de ella, observamos que la botella se mantiene cargada, entonces podemos decir que el cable C contiene electrificación positiva comunicada por el cable de la botella. Al ir acercando ahora el cable C hacia la parte inferior de la botella, entonces se presenta el flujo eléctrico como resultado de dos condiciones eléctricas diferentes, positivo el del cable y negativo el de la botella. Por eso la botella no se descarga.

Cuando se conecta al mismo tiempo el cable C, con el cable de la botella y la parte inferior de la misma, lo que se aprecia es que la botella se descarga, sin que se observe chispa. Recogiendo las dos interpretaciones anteriores podemos decir que el cable C adquiere la misma condición eléctrica (positiva) tanto por el cable de la botella como por la parte inferior de ella, y como resultado se presenta la tensión eléctrica que termina por anular la electrificación en el cable C y por ende la botella se descarga recuperando su estado original o de equilibrio.

Franklin con sus experiencias de electricidad estática, manifiesta dos estados diferentes de electrificación, pero un solo comportamiento eléctrico de electrificación. La electrificación usualmente se presenta en los cuerpos como un estado de electrificación positiva o negativa. Todo cuerpo en la naturaleza se encuentra electrificado, cuando un cuerpo no atrae o repele eléctricamente cuerpos cercanos, dice Franklin, es porque se encuentra en el estado nulo de electrificación. Pero un cuerpo al ser afectado eléctricamente manifiesta electrificación adquiriendo la propiedad de atraer o repeler los cuerpos más cercanos.

En síntesis, para Franklin, todo cuerpo en el universo posee electrificación, pero esta solo se manifiesta cuando es perturbado y lo hace adquiriendo uno de los dos estados el positivo o el negativo. Un cuerpo no atrae o repele eléctricamente cuerpos cercanos, dice Franklin, porque se encuentra en el estado nulo de electrificación. A tal efecto diremos que un cuerpo al ser electrificado adquiere la propiedad de atraer o repeler los cuerpos más cercanos. Ahora bien, la cantidad de materia eléctrica total del sistema después de la electrificación es la suma de materia eléctrica más y menos, por lo tanto, la carga total antes de la electrificación es igual a la carga total después de la electrificación, por consiguiente, la carga total del sistema permanece constante.

Implicaciones para la didáctica

La enseñanza de las ciencias debe posibilitar la construcción de explicaciones por parte de los estudiantes y el desarrollo de la actividad experimental para avanzar en la comprensión del fenómeno estudiado. En nuestro caso, acercarse al estudiante a la exploración de la electricidad a través de la botella de Leyden es una posibilidad de organización. No se trata de reproducir las experiencias realizadas por Franklin con la botella, pero sí de proveer las condiciones para iniciar su estudio.

El hecho de construir una botella de Leyden implica explorar materiales, caracterizar comportamientos y producir efectos. Usualmente los aparatos o instrumentos son dados para hacer observaciones y tomar medidas, pero poco se promueve su exploración fenomenológica, la actividad experimental se hace más rica en producción de efectos y en estabilización de hechos, ¿es posible diseñar nuevos instrumentos con otros materiales que se comporten como la botella de Leyden? ¿Qué diferencia con la botella, en términos de producción de efectos, se pueden realizar con un electroscopio?. La riqueza conceptual que encierra la experimentación ha sido constante en la producción del conocimiento científico, pero poco considerada en la enseñanza de las ciencias.

La enseñanza de la electricidad ha sido tradicionalmente a partir de formulas y definiciones, leyes y teorías, pero la historia de las ciencias, provee al docente de herramientas fundamentales para problematizar la enseñanza, formular preguntas pertinentes a los estudiantes, desde los aportes de los propios científicos y sus inquietudes naturales. En el caso de Franklin se aprecia un interés por mostrar experimentalmente la existencia del equilibrio eléctrico, la conservación de la carga es una consecuencia de la existencia del equilibrio eléctrico, pero, ¿como poner en evidencia dicho equilibrio? Allí se vuelve relevante la selección de los experimentos registrados.

El proceso de recontextualización del conocimiento y las experiencias en este trabajo, da la posibilidad de comprender y enfrentar las dificultades que se presentan en la enseñanza – aprendizaje de la física. Esta alternativa de enseñanza permite al estudiante construir explicaciones significativas en torno a experiencias que se desarrollan en un buen trabajo práctico, para tal fin se rescata la historia, la epistemología en la enseñanza de las ciencias en particular de la física electrostática, con un propósito particular, hacer un

análisis histórico-crítico de la problemática de los científicos en especial de Franklin y transformarlas, llenándolas de significado en cuanto al contexto de la construcción del conocimiento escolar. Es importante resaltar que esta alternativa de enseñanza-aprendizaje es muy flexible y se puede aplicar a cualquier temática de la física y áreas de la ciencia como la química, biología, entre otras.

Las posibilidades de desempeño del docente con sus estudiantes se multiplican al formular preguntas pertinentes que impliquen la acción experimental, ¿pueden los dos estados eléctricos (positivo y negativo) coexistir en un mismo material? ¿Por qué se producen efectos diferentes cuando se coloca un cable en forma de C en contacto con la botella? ¿qué pasa con la electricidad cuando la botella se descarga, hacia donde se va? ¿qué significa un objeto eléctricamente neutro? ¿es posible cuantificar la electricidad con la botella? Estas preguntas y muchas otras se hacen relevantes si el interés del docente es la comprensión y organización de los fenómenos a través de la actividad experimental. Posteriormente y de forma natural se puede plantear aspectos relacionados con la medida y la formalización lógico, matemática del fenómeno estudiado. Precisamente Maxwell en su libro sobre electromagnetismo construye la actividad experimental que permite avanzar en los procesos de cuantificación y unidad de carga (García 2011).

Finalmente se espera que la didáctica de la física sea un espacio para que el docente sea un sujeto cultural con capacidad de explorar, preguntarse, cuestionar, analizar y argumentar sobre el conocimiento científico y ser un anfibio cultural que acerque al estudiante a esa misma dimensión en su contexto cultural.

Referencias bibliográficas

CID, F. (1977-1982) Enciclopedia "Historia de las Ciencias" Vol. 2, Editorial Planeta, Barcelona.

- DRIVER, R. (1998). "un enfoque constructivista para el desarrollo de currículos en ciencias. Rev. Enseñanza de las ciencias, 6(2), Barcelona, España.
- ESTANY, A (2007) Innovación tecnológica y tradiciones experimentales. Una perspectiva cognitiva. Revista Ciencias. Facultad de ciencias de la UNAM. México.
- FRANKLIN, A. (1990) Experiment, right or wrong. Cambridge, Cambridge University Press.
- FRANKLIN, B. (1751, 1753, 1754). Experimentos y observaciones sobre electricidad. Trad. Summers, J. Editorial Alianza Universidad, (1988). Madrid.
- GARCIA, E. G. (1999) Construcción del fenómeno eléctrico en la perspectiva de campos. Elementos para una ruta pedagógica. Tesis de maestría. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá.
- GARCIA, E.G. (2002) Recontextualización de saberes en la enseñanza de las ciencias. Revista Innovación y Ciencias (ACAC), Volumen X No 3 y 4, pp. 57 -64.
- GARCIA, E. G. (2014) el papel de la experimentación en la enseñanza de las ciencias, el caso de la conducción eléctrica. En fundamentos de la filosofía. Compliladores German Guerrero y Luz Marina Duque. Universidad del Valle.
- GALISON, P. (1997) How experiments End. University of Chicago Press. Chicago
- GRECA, I. y MOREIRA, M. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. Enseñanza de las Ciencias, 16 (2), pp 289 – 303.
- GUISASOLA, J et al (1998) dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad. Revista Enseñanza de las Ciencias 16 (1). Barcelona.
- GOODING, D. PINCH, T.J y SCHAFFER, S. (1989). The uses of Experiment. Cambridge University Press. Cambridge.
- HACKING, I (1983) Representing and intervening: Introductory topics in the philosophy of natural science. Cambridge University Press. Cambridge.
- HEILBRON, J.L. (1979) Electricity in the 17 and 18 centuries. California: University of California Press. Berkeley.
- IGLESIAS, M (2004) el giro hacia la práctica en filosofía de la ciencia: una nueva perspectiva de la actividad experimental. Revista de Ciencias Humanas y Sociales, numero 20 pp 44
- GALISON, P (1997) How experiments End. University of Chicago Press. Chicago
- ORDOÑEZ, J y FEERREIROS, J. (2002) Presentación: Hacia una filosofía de la experimentación. Revista Theoria, Vol. 17. Numero 44, 209 – 219
- PICKERING, A. (1992) Science as practice and culture. The University of Chicago Press. Chicago.
- STEINLE, F. (2002) Challenging established concept ampere and exploratory experimentation. Revista Theoria, V. 17 No 44
- VIENNOT, L (2002) Razonar en Física: la contribución del sentido común. Editorial A. Machado Libros S. A. Madrid.



Análisis de las estrategias de autorización de mujeres científicas en la Ilustración*

Analysing strategies of two women to give scientific authority in the Italian Enlightenment

Nuria Solsona

Universidad Autónoma de Barcelona
nsolsona@xtec.cat

Resumen

El objetivo del estudio es explorar las estrategias de autorización científica de Laura Bassi y Mariangela Ardinghelli, en el siglo XVIII. Sin voluntad hagiográfica y con el interés de encontrar modelos de comportamiento de las mujeres sabias que pudieron acceder a la actividad científica en el período de la Ilustración italiana. A través de las cartas enviadas por el Abbé Nollet podemos conocer las prácticas sobre la electricidad incluidas en la actividad científica de la época, que se realizaban en las Academias y Salones europeos. Bassi en Bologna y Ardinghelli en Nápoles participaron en la manipulación de fenómenos eléctricos, en un momento que se discutían las explicaciones de Benjamin Franklin sobre la electricidad. El debate se centraba en los argumentos a favor y en contra de la teoría de un solo fluido eléctrico o de dos fluidos eléctricos.

Abstract

Our goal is to explore the strategies to give scientific authority to Laura Bassi and Mariangela Ardinghelli. From the first half of the 18th century onwards, tremendous curiosity about electrical phenomena spread throughout Europe. Machines producing electrostatic electricity were scattered over Italy, and lectures on electricity attracted members of academia as well as the ruling elite. The *Istituto delle Scienze et delle arti* de Bologna was one of the first scientific academies to lend legitimacy to studies focused on the nature of "electric fluid". Throughout Abbé Nollet letters we can know the kind of electricity practice played by Laura Bassi, professor of philosophy at the university of Bologna and Mariangela Ardinghelli, in Naples. They participated not only in the practices also in theoretical explanations given by Benjamin Franklin about electricity. The debate was about the arguments in favor of and against the theory of one electric fluid or two electric fluids.

* Investigación realizada en el marco del grupo LIEC (Llenguatge i Ensenyament de les Ciències) financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad (referencia EDU-2012-38022-C02-02). El grupo LIEC forma parte del Grup de Recerca Consolidat LICEC (referencia 2014SGR1492)



Palabras Clave

Historia, género, mujeres, estrategias, autoridad científica, electricidad.



Key Words

History, gender, women, strategies, scientific authority, electricity.



Introducción

En la segunda mitad del siglo XVI y durante todo el XVII, la aristocracia, artistas, científicos e intelectuales organizaron la conquista pacífica de Europa, siguiendo la fascinación por Italia y el viaje llamado el Gran Tour. Desde el Ancien Régime hasta la época de Luis XIII y la Inglaterra isabelina, el viaje por Europa se convirtió en una instancia formativa de las clases altas inglesas y francesas, pero también lo realizaron aristócratas alemanes, holandeses y rusos. Los viajes duraban uno o dos años, por tierra y por mar. Roma fue la capital de Gran Tour y Nápoles uno de los destinos imprescindibles, siendo la tercera ciudad más densamente poblada, después de Londres y París. El arte y la ciencia eran inseparables y el recorrido del Gran Tour incluía la visita de monumentos de las civilizaciones antiguas, además de la visita a los gabinetes científicos. Desde la cordillera de los Alpes hasta Sicilia, toda la geografía italiana fue objeto de conocimiento científico.

El conocimiento científico se ha ido construyendo a través de los siglos sobre cimientos que han estado determinados por la coexistencia y simultaneidad de múltiples creencias, conflictos de poder, resabios mitológicos, influencias religiosas y disputas axiológicas (Quintanilla et al., 2014). En historia de la ciencia, el concepto de autoridad ha sido subestimado o directamente dejado de lado, como si no fuera más que una modalidad de poder. Uno de los principales objetivos de la mirada de género es repensar la autoridad y restablecer su importancia en historia de la ciencia. Y hacerlo desde las reflexiones de Hannah Arendt, rescatando el rol que la *auktoritas* desempeñaba en la cultura romana. Arendt indica que “los que están investidos de autoridad no tienen poder”. La autoridad se sustenta en el reconocimiento, la confianza, el crédito o el prestigio.

Desde la historia de las ciencias, a menudo se ha planteado el interrogante sobre las estrategias utilizadas por las mujeres que

hoy conocemos gracias a un libro escrito o a una referencia en las actas de una institución universitaria. En la segunda mitad del siglo XVIII, la reputación de las mujeres ilustradas en Italia siguiendo las palabras del astrónomo francés Joseph Jérôme de Lalande habían cruzado los Alpes. Se llamaban Laura Bassi, Clelia Grillo Borromeo, Maria Gaetana Agnesi, Anna Morandi Manzolini y Mariangela Ardinghelli, entre otras. La popularidad de las actividades científicas en las cortes italianas facilitó que algunas mujeres pudieran participar en ellas.

Nos interesa especialmente analizar y comparar las estrategias de visibilización y autorización científica de Mariangela Ardinghelli (1730-1825) y Laura Bassi (1711-1778), con la intención que nuestro estudio pueda servir de modelo para analizar las trayectorias de formación de otras mujeres científicas. Sin voluntad hagiográfica y con el interés de encontrar modelos de comportamiento de las mujeres sabias que pudieron acceder a la actividad científica en el período de la Ilustración italiana. Para ello, en primer lugar señalaremos algunos elementos que definen la práctica científica del siglo XVII en su contexto histórico, especialmente el papel de las Academias y Salones científicos. A continuación, por separado describiremos el proceso de formación de Bassi y Ardinghelli, para analizar los factores que les reportaron autoridad científica. Es interesante prestar atención a su interés en la experimentación de fenómenos eléctricos. Finalmente, realizaremos un breve análisis comparativo de la autorización científica seguida a lo largo de su vida por Bassi y Ardinghelli.

Contexto histórico

A partir del siglo XVII se desbordó el interés por los hechos científicos, en Europa. Todos los fenómenos que ocurrían se observaban, se registraban y estudiaban. No había unos criterios claros para la investigación y por

tanto, todos los fenómenos podían tener la categoría de científicos, por anómalos o extraños que fueran. A lo largo del siglo XVIII, la ciencia se fundamenta cada vez más, en un modelo estandarizado de actividad científica. Se trata de formar agrupaciones de fenómenos, de los que se extraerán datos experimentales que permitan justificar leyes o regularidades que se establezcan.

Durante los siglos XVII y XVIII, en la época de la Ilustración francesa o de la llamada República de las Letras, en los distintos países europeos se estableció la autoproclamada comunidad de intelectuales que realizaron las primeras exploraciones y experimentos científicos. Esta comunidad se extendió más allá de las fronteras nacionales, respetando las diferencias de lengua y cultura. Se organizaron mediante Academias, Salones y periódicos o publicaciones periódicas y sus miembros consideraban una obligación escribir regularmente cartas para contribuir a la expansión de la institución. Aunque fue mayoritariamente masculina, algunas mujeres pudieron intervenir en ellas y su papel fue relevante. Afortunadamente, en estos siglos el conocimiento circulaba a través de letras manuscritas, recogidas en los Archivos, que hoy se pueden consultar. Estos textos son las principales fuentes para entender y evaluar su contribución a los debates científicos de la época.

El mundo de la fuerza y las armas estaba reservado a los hombres y las mujeres se dedicaron al mundo intelectual. La mayoría de los Salones y los círculos científicos del siglo XVIII nacieron como instituciones intelectuales dirigidas exclusivamente por mujeres y estaban abiertas a la sociedad culta y acomodada. Eran un canal de comunicación entre las nuevas élites intelectuales que competía con las Academias (Solsona, 1997). Se formaron Salones científicos en las ciudades más importantes de Europa. Se extendió la afición al naturalismo y algunas mujeres de clases

altas participaron en la realización de algunos experimentos. En el *Ancien Régime*, las mujeres sabias fueron objeto de sátira feroz, de la que no se libraron incluso aristócratas como Emilie du Châtelet.

A partir de la mitad del siglo XVII la Universidad empezó a perder prestigio, ya que sólo ofrecía enseñanzas teóricas. En Bolonia se podía estudiar filosofía y medicina, siguiendo la vieja tradición escolástica. El *Istituto delle Scienze et delle arti de Bologna* fue fundado a principios del siglo XVIII y desarrollaba cursos experimentales de corta duración. Era un lugar diseñado para el estudio y la investigación, con una librería especializada, un museo de historia natural, aparatos de física y química y un observatorio astronómico. El trabajo de los académicos de Bologna fue bien conocido en Europa, gracias a los diez volúmenes de entradas latinas, llamados *Commentarii*, publicados desde 1731 hasta 1791. A partir de la mitad del siglo XVIII, se extiende por Italia una gran curiosidad por los fenómenos eléctricos y por las primeras máquinas productoras de electricidad electrostática. Un interés compartido por los ambientes académicos y los salones frecuentados por la aristocracia. El *Istituto delle Scienze* es una de las primeras academias científicas que da legitimidad al estudio de la naturaleza del 'fluido eléctrico' y sus efectos como nuevo campo de investigación científica.

La participación del *Istituto delle Scienze de Bologna* en la difusión del estudio de la electricidad en Italia fue importante y quedó recogido en el diario de viaje de Jean Antoine Nollet, en 1749 (Bertucci, 2013) En su viaje a Italia verificó personalmente los controvertidos experimentos italianos que creían que la electricidad era un medio para introducir en el cuerpo humano preparados farmacéuticos para la curación de ciertas enfermedades. Hacia 1740, otros centros europeos de estudio habían mostrado interés en los fenómenos eléctricos. Se centraban en los expe-

rimentos sobre la electricidad atmosférica para verificar la hipótesis de Franklin sobre la naturaleza de la electricidad.

En Europa, en 1752, se publicaron las “Cartas de Benjamin Franklin sobre la electricidad” a su amigo Collison. Franklin era un desconocido y su amigo Collison era de la Royal Society. Las cartas no estaban destinadas a la imprenta, pero el Conde Buffon de la Academia Francesa de Ciencias consideró que la teoría era de interés y se tradujeron. Jean Antoine Nollet escribió las “*Lettres sur l’électricité*” con la idea de discutir con Franklin sobre la naturaleza de la electricidad, la gran controversia sobre la electricidad del siglo XVIII. Nollet, siguiendo la descripción de William Gilbert del fluido eléctrico, se centró en la necesidad de uno o dos fluidos para explicar la atracción y la repulsión eléctricas. Los experimentos realizados por Nollet buscaban la defensa entusiasta de la teoría de los dos fluidos, en contra de la de un solo fluido de Benjamin Franklin, y para ello escribió un texto en forma de cartas dirigidas a los expertos contemporáneos en electricidad. En sus cartas ‘*Lettres sur l’Electricite*’, refutaba cada imprecisión, exageración y falsedad percibidas en las ideas de Franklin. Sin embargo, en parte debido a la gran reputación de Franklin el modelo que resultó dominante fue el de un solo fluido. Las “*Lettres sur l’électricité*” explicaban los experimentos de física que realizaba la aristocracia en los Salones científicos y la explicación de algunos hechos importantes explicados de forma ingeniosa.

Siguiendo otra línea de trabajo, Robert Boyle (1627-1691) que estaba interesado en el aire atmosférico, realizó experimentos con los gases. Boyle creía que el aire era “un cuerpo fino, fluido, diáfano y compresible y dilatado que respiramos, por el que no movemos y que envuelve la Tierra por todas partes”. Boyle consideraba cualquiera de los gases actuales como “aire impuro o modificado”. Las ideas sobre los aires de Isaac Newton

eran parecidas a las de Robert Boyle. Newton recogió sus inquietudes en su obra *Opticks* de 1704 que estimuló a Stephen Hales (1677-1761) vicario de Teddington a realizar una serie de experimentos sistemáticos reunidos en la obra *Vegetables Staticks* en 1727. En ella recoge un estudio sobre la elasticidad de los mismos. Según Newton, el aire estaría formado por partículas que se repelían mutuamente, una propiedad que explicaba su elasticidad. Las partículas eran activadas por otras sustancias que entraban en contacto con ellas. En determinadas circunstancias, las partículas del aire podían estar fijas para contribuir a la unión de las partículas de otros cuerpos. La experimentación realizada por Hales proporcionó dos elementos fundamentales para la comprensión de los gases: su consideración como entidades materiales y el desarrollo de una instrumentación adecuada para su recolección (Grapí, 2012).

Laura Maria Caterina Bassi

Laura Maria Caterina Bassi (31 octubre 1711-20 febrero 1778) fue la única hija de Rosa Cesári y Giuseppe Bassi, abogado de Módena empleado en Bologna, como gobernador y canciller. Laura recibió desde los cinco años una sólida educación en casa en lenguas, lógica, filosofía, metafísica y ciencias. Con el apoyo de su familia estudió en la Universidad de Bologna, la ciudad más importante de los Estados papales, después de Roma. Admirada por su facilidad con el griego, el latín, al francés y el italiano, recibió el doctorado en Filosofía en 1732 y continuó estudiando mecánica, hidráulica, anatomía e historia natural. Su conocimiento del latín fue fundamental para el estudio de las ciencias, dado que en la primera mitad del siglo XVIII, muchos libros y textos estaban escritos en latín. Alentada por el cardenal Prospero Lambertini en su trabajo científico, estaba principalmente interesada en la física newtoniana. Lambertini propuso aumentar en uno los veinticuatro puestos del

Istituto delle Scienze de Bologna para que fuera ocupado por Bassi, pero el puesto era temporal ya que estaba destinado a desaparecer con la muerte de la *dottoressa*.

En Europa, Bassi fue la segunda mujer en recibir un grado universitario y la primera mujer en ocupar una cátedra de Física en la Universidad de Bolonia, donde fue contratada con un pequeño salario. Hubo precedentes legendarios en la Edad Media italiana y el caso reciente de Elena Lucrezia Cornaro Piscopia, que se graduó en filosofía en Padua en 1678. A pesar de su alta cualificación intelectual, Laura Bassi tenía problemas con su reputación por su presencia en los círculos científicos de la época. Como mujer, tuvo numerosas dificultades, ya que no se aceptaba su presencia en Salones y Academias, y que realizara ella sola experimentos en presencia de hombres (Findlen, 1993). A pesar de las dudas, finalmente en 1738 se casó con Giuseppe Veratti (1707-1793), un médico de Bologna, con quien tuvo doce hijos, que le prometió no interferir en sus estudios. Laura Bassi tenía más conocimientos matemáticos que Giuseppe Veratti y que la mayoría de sus contemporáneos. Cavazza (2009) cree que establecieron una colaboración científica y una relación paritaria en la gestión de la vida familiar, impensable en el contexto social, jurídico y cultural del siglo XVIII.

Las actividades de Bassi empezaron en el período en que había las primeras discusiones sobre Newton, con su obra *Opticks* editada en forma de poema y las exploraciones de los *Principia*. Cuando murió los principios generales de Newton eran la base para el estudio de todos los campos de la filosofía natural. Antes de realizar el doctorado, Bassi estudió la filosofía cartesiana y la aristotélica, se introdujo en el newtonianismo en 1730, bajo la tutoría del matemático Gabrielle Manfredi. En 1747, Bassi enseñó los trabajos de Stephen Hales *Vegetables Staticks* sobre los gases.

Laura Bassi aparece en los registros de la Universidad entre 1732 y 1778, y como profesora de Física experimental desde 1745 hasta 1778, el año de su muerte. Asimismo se concedió a Veratti el puesto de asistente. Sólo dos años después, cuando murió a la edad de sesenta y siete años, su marido la sucedió en el cargo.

En 1776, las habilidades y el saber científico de Laura Bassi, así como su don para la enseñanza, consiguieron el reconocimiento oficial del Senado. A partir de entonces, el Senado la permitió dar clases ocasionalmente, con la autorización de sus superiores. En 1749, inauguró una escuela de Física Experimental en su casa, que cumplió su función mediadora acogiendo a científicos de renombre y a jóvenes promesas. El laboratorio fue subvencionado por un aristócrata, tuvo mucho éxito y llenó un espacio vacío en los estudios de la ciudad (Cavazza, 2009).

Veratti trabajaba en la aplicación de los principios de la física newtoniana al estudio de los organismos, aunque Galvani es el más conocido actualmente. Bassi y Veratti formaron una pareja científica, pero ella no le debía su formación científica, ni era su ayudante sino que tenía mayor visibilidad que él. Una situación que no se daba en otras parejas científicas. La colaboración entre Veratti y Bassi en una tarea científica común presenta algunas diferencias en relación a otras parejas de estudiosos, ya que están unidos en el plano afectivo y el profesional. Laura Bassi y Veratti, participaron en la manipulación experimental y en los debates teóricos sobre la naturaleza y efectos de la electricidad, y el estudio del aire fijo y el aire inflamable. No siguieron el mismo camino, pero compartieron espacios e instrumentos, y el mismo marco teórico. Bassi repartió su tiempo entre enseñar, experimentar y educar una familia, de la que sobrevivieron sólo cinco hijos (Findlen, 1993).

La autoridad en Laura Bassi, la *dottoressa*

Laura Bassi fue muy estimada por la comunidad científica por los cursos de física experimental que dio durante treinta años en su propia casa, reconocidos y subvencionados oficialmente, y por las memorias presentadas en el *Istituto delle Scienze* de Bologna (Cavazza, 2009). De la lista de publicaciones y textos que han sobrevivido, sólo podemos citar algunos gracias a las publicaciones en los *Commentarii* de la Academia, que son el testimonio del amplio rango de intereses científicos característicos de la época, desde la mecánica a la dinámica de fluidos, desde la electricidad a la química de los gases. Algunos de los títulos son *Sobre la composición del aire*, en 1746, *Sobre las burbujas observadas en los fluidos que fluyen directamente*, en 1747, *Sobre las burbujas del aire que se escapan de los fluidos*, en 1748, *Algunos Experimentos sobre la electricidad*, 1762, *Sobre la Electricidad*, 1768 y 1770, *Sobre la vindex Electricidad*, 1771, *Sobre la Electricidad: especialmente algunos experimentos de Halles*, 1774. En 1757, la Academia publicó dos disertaciones de Bassi en latín. *De problemate quodam mechanico* (un estudio de cierto tipo de trayectoria del movimiento de dos cuerpos en una curva) y *De problemate quodam hydrometrico* (disoluciones alternativas en un problema hidrométrico complejo). Póstumamente se publicó *De inmixio fluidis aere*, en 1792.

El contexto de la Ilustración italiana imponía limitaciones a las mujeres, que interesa analizar para ver cómo fue posible su ingreso en el mundo académico. La fama de Bassi, la “*filosofessa* de Bologna” (Algarotti 1739), y el valor simbólico de su posición en el siglo XVII en Italia y Europa, fue debido en gran parte a los honores y reconocimientos extraordinarios del Senado, la Universidad y al *Istituto delle Scienze de Bologna* que le fueron concedidos en 1732. Bassi fue la primera lectora uni-

versitaria y la primera profesora de plantilla, sin duda bajo condiciones especiales en este “mundo sin mujeres” que la universidad había sido desde sus principios. Las estrategias de Laura Bassi para afirmarse en un espacio público como la actividad científica se extienden a la invención de nuevos roles y relaciones a partir del matrimonio, con la aprobación y complicidad de su marido. Cavazza (2009) se pregunta por los roles asumidos entre Bassi y Veratti como pareja y en el círculo científico de Bologna que trabajaba con la electricidad. La imagen de Laura Bassi quedó recogida simbólicamente en varias imágenes, en pinturas al óleo, retratos, medallas y miniaturas que la representan, a diferencia de Veratti que no tiene un solo retrato en Bologna ni en Italia, donde no era conocido.

La “*dottoressa*” de Bologna actuó con determinación y habilidad para hacer carrera como mujer de ciencia, algo inaudito en aquellos tiempos. Más allá de las restricciones que encontró motivadas por su sexo y por las autoridades de la ciudad-Estado de Bologna.

Durante su largo recorrido como profesora, Bassi introdujo nuevas fórmulas de enseñanza del currículo científico universitario, y en 1776 consiguió innovar la enseñanza de la física en el *Istituto delle Scienze de Bologna*. El Senado le envió una carta dirigida personalmente a ella para que organizara el curso como profesora, donde Veratti constaba como su asistente.

Bassi fue miembro honorario del *Istituto delle Scienze* de Bologna desde 1732 y en 1745 obtuvo una plaza de la élite de los académicos *Benedettini*, establecida por el Papa Benedicto XIV con la intención de incrementar la producción científica, con la colaboración de su marido Veratti. Los *Benedettini* recibían un estipendio, debían asistir regularmente a las sesiones de la Academia y presentar por lo menos una comunicación original, una vez al año.

Laura Bassi y la electricidad

A partir de la década de 1760, los estudios de Bassi se centraron principalmente en la electricidad y los fenómenos eléctricos. En colaboración con su marido organizó un centro experimental sobre electricidad que atrajo el interés de viajeros como el Abbé Nollet. Desgraciadamente, la historia de la electricidad standard menciona sólo de pasada los trabajos de los Bassi-Veratti. En el laboratorio, se utilizaba una máquina eléctrica comprada en 1749, que era una versión mejorada del modelo de Hauksbee inventado a principios de siglo. Hay una descripción de la máquina en el diario de viaje de Jean Antoine Nollet, que visitó los Bassi-Veratti en 1749.

La Máqui[na] Eléctrica de Mr. Verati tiene una Rueda de 3 pies y medio de diámetro, dos muñecas bastante sólidas, de los siete cilindros unos son de cristal de Venecia, los otros de cristal blanco hecho en Boulogne, tienen alrededor de 21 pulgadas de diam., et 8 a 10 pulgadas de largo. (Nollet, 1749, p. ¿?).

Bassi fue protagonista de las dos líneas de trabajo de los fenómenos eléctricos del *Istituto delle Scienze de Bologna* desde 1750 hasta 1770. En la primera buscaba los principios que permiten relacionar fenómenos físicos, como luz, calor, electricidad y magnetismo con fenómenos orgánicos, como el efecto de la electricidad en el crecimiento de las plantas y movimiento muscular, peces “eléctricos” y peces fosforescentes. La segunda línea de trabajo consistió en apoyar la teoría del fluido eléctrico único propuesta por Franklin y sistematizada por el newtoniano Giambattista Beccaria, que trabajaba en el *Istituto delle Scienze de Bologna*, con Bassi y Veratti. Cuando la mayoría de estudiosos italianos de la electricidad apoyaron la teoría del doble fluido de Symmer, el *Istituto delle Scienze de Bologna* se mantuvo fiel a Franklin. Cavazza (2011) cita una guía oficial del *Istituto delle Scienze de Bologna* de 1780, donde se indica que las máquinas e instrumentos de la sala

de la electricidad estaban dedicadas a ilustrar las teorías de Franklin y Beccaria.

La escuela fue un éxito, en la mitad de los años 1750 era un punto de referencia para los jóvenes físicos y el Senado aumentó el salario de Bassi, en 1759. La búsqueda de analogías que permitieran relacionar fenómenos diferentes relacionados con la luz, calor y electricidad en el *Istituto delle Scienze de Bologna*, fue propuesta por Veratti, en las reuniones anuales de académicos, en 1758 y 1759 buscando paralelismos entre la “virtud magnética” y “virtud eléctrica”; y en segundo lugar por Laura Bassi, que en 1777 mantuvo que había afinidad entre los cuerpos que retenían calor y los que retenían electricidad.

Felice Fontana escribió cartas a Bassi, donde la califica como “honor de las mujeres y envidia de los hombres”. En la carta, comenta los instrumentos, especialmente las máquinas que compran o construyan para el museo: la primera máquina eléctrica Nairne, que representaba una novedad para Italia y la gran máquina construida por los mecánicos del museo, para producir chispas violentas como las que se obtienen con la botella de Leyden. Fontana describe también una “*macchinetta*” eléctrica construida en Firenze bajo la guía de su inventor el holandés Ingenhousz, que Bassi le enseñó. En 1768, Fontana comenta con Bassi sus dudas sobre la teoría de Franklin admitiendo que no puede explicar todos los fenómenos. Por una parte dice que ha realizado “experiencias irresistibles” que la confirman, pero numerosas pruebas “restringen las propuestas demasiado generales de Franklin”, que podrían considerar falsa la teoría del único fluido.

El estudio de los efectos de los estímulos eléctricos en el sistema nervioso abrió el camino para el descubrimiento de la electricidad animal de Luigi Galvani, alumno en su juventud de Veratti y Laura Bassi (Cavazza, 2011). La casa de la pareja Bassi-Veratti,

dotada de un laboratorio físico bien equipado, se convirtió en el más animado lugar de encuentro para los miembros más atrevidos de la comunidad científica de Bologna, y muchos turistas científicos, italianos y extranjeros. En 1820, el *"Inventario delle macchine componenti il Gabinetto una volta della Signora Dottoressa Laura Bassi Veratti"* realizado por uno de sus descendientes da cuenta de los instrumentos y máquina eléctricas que utilizaban para sus experimentos.

El análisis de la correspondencia de Bassi permite constatar el importante rol que cumplió en el mundo de la Ilustración. Las cartas con Gianbattista Beccaria, Lazzaro Spallanzani, Jean Antoine Nollet, Felice Fontana, Leopoldo Caldani, y Alessandro Volta, son la evidencia de su rol en la red de intercambios científicos. No disponemos de una edición completa de su correspondencia, pero recientemente ha empezado el análisis académico detallado de la misma. Se confirma el interés de los temas científicos y las metodologías de investigación adoptadas, y su labor en la difusión en Italia de la física newtoniana y de las explicaciones de los fenómenos eléctricos de Benjamin Franklin.

Una carta muy larga escrita por Nollet describe una de las invenciones eléctricas de Benjamin Franklin, el cuadrado mágico, es decir un cuadro para conducir el "fuego eléctrico" y crear diseños luminosos. Nollet incluyó esta carta en la edición de 1767 de *"Lettres sur l'Électricité"*.

Madame,

Aprovecho con presteza el retorno de R.P. Frisi a Italia para comunicaros con cortesía, y enviaros algunas bagatelas que podrán divertirnos, y podréis compartir con los amantes de física que visitan vuestro *Museum*. He encontrado un medio seguro de conducir los fuegos eléctricos de la manera deseada, se podrán hacer alegres cuadros, sobre los que se verán figuras, letras, sílabas, palabras enteras cuando la electricidad será un

poco más fuerte...Tenéis que tomar el vidrio por el lugar marcado con una *B*, y acercareis un conductor bien electrizado, marcado con una *A*. Entonces habrá tantos puntos luminosos sobre el cuadro con intervalos *a*, *b*, *c* etc. Entre los pequeños rombos que forman el diseño, este centelleo se repetirá varias veces, de manera que tendréis tiempo de distinguir la figura. Como imagino que os será fácil prepararlo y variar esos pequeños juegos filosóficos, adjunto algunas muestras que envío con hojas de estaño, que hay que escoger para esto; y voy a describiros todos los secretos.

Hay que partir de este 1r. hecho, fig 1¹: a saber. Que si se toma con la mano la punta de un hilo grueso de hierro *GH*, por el medio, y se presenta a un conductor electrizado, siempre salta una chispa en *H* y si se tiene el dedo cerca del punto *G*, hay una chispa entre el dedo y el hierro; y, por último, si se presentan varias puntas de hilo parecidas y contiguas sin tocar, como *AB*, *BC*, *CD*, etc. Se verán chispas al mismo tiempo en *A*, *B*, *C*, *D* etc.

De aquí se saca la consecuencia, que si se enganchan una serie de pequeños cuadrados de metal sobre una tira de vidrio, fig 2 y se hace echar chispas sobre la pieza *A* en el conductor y teniendo la mano o el dedo sobre la pieza *B*, se obtendrán puntos de luz en *O*, *I*, *K*, *M*, *N*, *L*, etc. Hace 3 o 4 años he descubierto que los fuegos de este tipo son más fuertes, si los metales están sobre vidrio, piedra dura, pizarra, etc. Y como la materia eléctrica sigue toda clase de direcciones, se podrán imitar estas trazas de fuego que serpentean el aire en los días de tormenta, colocando las pequeñas piezas de metal en zigzag, como la fig 3. Pero hay que prestar atención a que los cuadrados no se acerquen por los lados, como *D* y *E* de la fig. 4, ya que no aparecerían ningún tipo de chispas en el ángulo *C*. Se evita este inconveniente colocando uno de los cuadrados como *E*. fig. 5, y si el ángulo es agudo como *M*, se formará con dos triángulos rectángulos, como *O*, *P*. Si el diseño tiene

.....
 1 La versión digital del libro al que hemos tenido acceso no incluye las figuras que se indican en el texto.

líneas que conectan con sí mismas, como el círculo, el cuadrado, etc. tenéis que recordar que normalmente las partes de un mismo conductor no echan chispas entre ellas; así la materia eléctrica que sale del punto *A*, fig. 6 y camina por la línea *C, D, E F* no podrá producir luz en *C*, por ello prepararéis una de las dos caras del vidrio para representar una parte de esta línea *ACDH*, fig. 7, reservando el resto *EFG* para la otra cara del vidrio; y haréis que se comuniquen estas dos partes mediante una lámina de estaño *P, O, N, I* que envolverá el vidrio, llegando por una parte al último cuadrado *H* de encima, y por el otro al primer cuadrado *E* y para conducir el fuego eléctrico hasta *B* donde estará vuestra mano añadiréis la lámina que levantareis por debajo del borde del vidrio. (Nollet², s/d, p. 100)

El prestigio internacional de Laura Bassi quedó registrado en Francia, su nombre está en la entrada "*Femme*" de *l'Encyclopedie* francesa y el *Journal des Femmes* le dedicó un artículo en 1775. Fue admirada por Voltaire que escribió de ella: "No hay ninguna Bassi en Londres y sería más feliz siendo de la Academia de Bologna que de la de los ingleses, a pesar de Newton".

Bassi potenció la constitución de una red de experimentadores que conectó Italia con la cultura científica de Francia e Inglaterra. Margaret Cavendish, Maria Merian y Emilie du Chatelet publicaron más que Laura Bassi, pero ella fue la que mejor se introdujo en el mundo académico de la ciencia.

Mariangela Ardinghelli

Mariangela Ardinghelli (1730-1825) fue hija única de una familia desheredada, a diferencia de otras mujeres sabias contemporáneas. Su familia provenía de una de las más antiguas de Italia, pero había perdido títulos y privilegios. Su padre al no poder darle una

dote adecuada para un buen matrimonio, la apoyó para que consiguiera una buena educación, con los mejores tutores disponibles en Nápoles para el estudio de las matemáticas y la filosofía natural, inglés, francés y latín (Bertucci, 2013).

Su primera intervención pública se realizó en 1747, para leer un poema en latín en un acto de la *Accademia Spinella*, con diecisiete años y la autorización del padre. Ardinghelli intervino después de Eleonora Barbapicola, la traductora al italiano de los Principios de Filosofía de Descartes. En Nápoles, el aristócrata Ferdinando Spinelli, príncipe de Tarsia organizó la efímera *Accademia Spinella*, a imagen y semejanza del Gabinete de física experimental de los Medici, una tertulia de los sabios locales que se reunían bajo su patrocinio. La apertura de la biblioteca del príncipe fue un hecho extraordinario, ya que en la ciudad no había otras bibliotecas disponibles. Contaba con máquinas mecánicas, instrumentos astronómicos y eléctricos, y tras su constitución se pusieron en contacto con la Académie des Sciences de París. En comunicación oficial expresaron su deseo de establecer "comercio científico" con sus colegas franceses. La *Accademia Spinella* fue crucial para las personas que pudieron acceder a ella, así la colección de instrumentos del gabinete posibilitaron la realización de experimentos, especialmente en electricidad tal como queda documentado en el grabado *Tentamina de causa electricitatis*, (Pruebas sobre el principio de la electricidad) que se encuentra en el *Palazzo Tarsia* de Nápoles, con fecha de 1747. El grabado muestra cinco hombres y una mujer, Mariangela Ardinghelli realizando manipulaciones eléctricas (Bertucci, 2013).

Allí Ardinghelli, cultivó la filosofía natural, bajo la supervisión del tutor Della Torre, donde encontró las máquinas eléctricas, que había puesto en funcionamiento el experimentador itinerante Peter Johan Windler en 1747. En un tiempo que la visibilidad y la exhibición

2 Las traducciones de los textos son de la autora y respetan las repeticiones de la lengua original.

suponían mala reputación para las mujeres, el *Palazzo Tarsia* era un refugio para Ardinghelli.

La autoridad en Mariangela Ardinghelli

Mariangela Ardinghelli es conocida por ser la traductora al italiano de los dos volúmenes de Stephen Hales de *Vegetables Staticks*. Ella concibió sus traducciones dejando claro que no eran solo un ejercicio en una lengua extranjera. Sus notas a pie de página eran claramente subversivas, eran un “texto dentro del texto” y se convirtieron en un ejercicio de autoridad (Bertucci, 2013). En *“Emastatica, o sia Statica degli animali: esperienze idrauliche fatte sugli animali viventi dal signor Hales, ... tradotta dall’inglese nel francese, e commentata dal signor De Sauvages, ... e dal francese nuovamente trasportata nell’italiano idioma, Napoli, Stamperia Giuseppe Raimondi”* (1750-52) Ardinghelli creó dos espacios literarios más en los que se hacía visible: la dedicatoria del libro al marqués de L’Hopital, embajador de Francia en Nápoles. La dedicatoria mostraba su interés en ser conocida por las clases altas francesas que podían dar apoyo a su actividad científica. Y en la sección *“A qui legge”* resaltaba que su trabajo de traducción era un proceso de evaluación crítica, validación y certificación. Explicaba que al trabajar con la traducción al francés de un texto original en inglés, necesitaba tener el original inglés porque a veces la traducción francesa “no tenía sentido”. El traductor François Bossier de Sauvages, había sustituido las medidas inglesas por las francesas, sin convertir los valores. Ella indicaba “que se había tomado la libertad de repetir todos los cálculos” y ponerlos en cursiva, en las notas a pie de página para que el lector pudiera comprobarlos. También incluyó comentarios al trabajo realizado por Hales, basándose en la correspondencia mantenida con él. La traducción de Ardinghelli supuso una aproximación al trabajo de Hales completamente diferente de la de Sauvages.

Ardinghelli dedica el segundo volumen *“Statica de vegetabili ed analisi dell’aria. Opera del doctor Stefano Hales”* (1756) al Duque de Penthiure y en la sección titulada “Al lector”, en italiano *“A qui legge”*, indica que faltaba la “experiencia XCIII” e insiste en “que se ha tomado la libertad de repetir todos los cálculos”.

La estrategia de autorización utilizada por Ardinghelli tuvo mucho éxito. Fue reconocida como una “matemática excelente” y se publicó un extracto de *“A qui legge”* en la revista *Novelle Letterarie de Firenze*. La familia de Ardinghelli dio su apoyo a la exposición pública de su sabiduría y en su casa fue la anfitriona de *conversazioni* con sabios newtonianos, locales y extranjeros.

La reputación internacional de Ardinghelli se extendió con la cultura del Grand Tour. Y con la correspondencia que mantuvo con los miembros de la Academia de Ciencias de Paris, de la que fue corresponsal extranjero a través de Jean-Antoine Nollet, desde 1749, con quien intercambió más de 70 cartas. En 1767, el astrónomo francés Joseph Jérôme de Lalande, que conocía la reputación de Ardinghelli porque era la única mujer cuyas cartas fueron leídas regularmente durante dos décadas, en las sesiones de la Academia. Decía de ella “estaba al frente de las mujeres ilustres que hacían la gloria de su sexo en Italia”.

Mariangela Ardinghelli y la electricidad

Ya hemos indicado que J.P Nollet escribe las *Lettres sur l’Electricité* para discutir las ideas de Franklin sobre la naturaleza de la electricidad. Un ejemplo de la importancia que daba Nollet a obtener la aprobación de Ardinghelli se refleja en el hecho que le dedicara la primera carta, que tiene una extensión de 23 páginas y dice:

A la Demoiselle Marie-Ange Ardinghelli (a)
“Contiene los Descubrimientos hechos sobre la Electricidad en el año 1752.

Mademoiselle, veo por vuestra última carta, que no estáis todavía contenta de mi exactitud, a pesar de que después de los reproches que me habéis hecho he repetido mis atenciones & esfuerzos para instruiros puntualmente de todo lo que apareciera de nuevo en Física. Pretendéis que lo replantee en los Boletines, por ejemplo el de Francia del 27. Pero el último me ha ganado en velocidad, haciéndome aprender que el Trueno electrifica las puntas de hierro, que se alzan en dirección a los nubarrones, y con pena, vos diríais, tengo que preguntaros: 1º si el fenómeno es real, 2º qué ha permitido el descubrimiento, 3º si las consecuencias que se extraen están bien fundamentadas. Admiro lo precisa que sois incluso en vuestras correcciones, & aunque no tenga nada que reprocharme en esta ocasión, sin embargo me someto a ellas con docilidad & con placer para que estéis ampliamente informada de estas novedades que hacen tanto ruido. (Nollet, 1752, p. 2)

El Autor de un Boletín, realiza su tarea anunciando los hechos, a medida que llegan incluso informando con fidelidad de lo que se dice:...Sí, Mademoiselle, es muy real bien constatado, que una varilla de hierro alzada en el aire, y aislada por un soporte de vidrio, de resina, de seda, se electriza, cuando truena, incluso a veces cuando no truena, pero antes de ir más lejos, está bien deciros en pocas palabras lo que causa esta prueba singular.

Un inglés llamado Benjamin Franklin, habitante de Filadelfia en Pensilvania,..." (Nollet, 1752, p. 4)

Nollet, en la nota a pie de página (a) resalta:

Mademoiselle Ardinghelli es una joven persona muy virtuosa que ha hecho en poco tiempo grandes progresos en las ciencias: su familia, una de las antiguas & más ilustres de la Toscana, fue a establecerse en el Reino de Nápoles, en 1749. *Mademoiselle* Ardinghelli, que no tenía entonces más de 16 años, hizo imprimir una versión en italiano de Hemitica de Mr. Halles con notas muy sabias juiciosas. (Nollet, 1752, p. 1)

Nollet explica a continuación los experimentos e ideas de Franklin, indicando que vive en una colonia que se ocupa más del Comercio que de la Ciencia. Sigue la Primera carta diciendo:

No tengáis, sin embargo, *Mademoiselle* demasiada mala opinión de nosotros franceses creyendo que estas ideas han entrado de la misma forma en nuestras cabezas; el pueblo siempre dispuesto a creer las cosas maravillosas se prestó durante algún tiempo & encuentro que fue más excusable en esta ocasión que en otras: las personas mejor instruidas, pero conmovidas por las autoridades demasiado valoradas & algunas de las cuales fueron malentendidas, se dejaron llevar por la opinión común, dejándose apartar por el tono dulce o de broma que adoptan al hablar, el derecho de actuar contra & de mantener seriamente que no lo habían creído...(Nollet, 1752, p. 11).

Cuando leáis en el Boletín del 27 de Mayo:

Sir Bouger Pensionado de la Academia Real de Ciencias, dio cuenta de su experiencia el 19 & a continuación que confirma la primera (la de Marly-la-Ville) la una y la otra muestran, que por medio de las barras puntiagudas, se despojará a las nubes tormentosas de su fuego"; no os confundáis pensando, como a menudo nos pasa, que la Academia Comprende aquello que aprueba. (Nollet, 1752, p. 11)

Este examen fue hecho poco tiempo después, por M. le Monier, Doctor en Medicina, establecido en St. Germain-en-Laye: la posición del lugar que es muy elevada, favorece estos ensayos, las tormentas que llegan en esta época proporcionan muchas ocasiones. Aprendimos pronto 1º que el hecho de Marly-la-Ville estaba plenamente verificado, en presencia de un gran número de testimonios muy respetables & dignos de fe. 2º Que este efecto tenía lugar tanto si las puntas de hierro eran puntiagudas, como si no lo eran & que su posición horizontal o vertical era indiferente. 3º Que la tormenta electrifica no sólo el hierro, también la madera, y los cuerpos vivos, y generalmente todos los cuerpos

electrificables. 4º Que no era absolutamente necesario llevar estos Cuerpos a la parte alta del edificio, que se electrificaban muy bien a 4 pies del suelo en un sitio descubierto un poco separado de los grandes edificios. 5º Que los cuerpos electrificados de esta manera producen los mismos fenómenos que acostumbran a mostrar cuando se les electrifica con un vidrio frotado (Nollet, 1752, p.14).

Vuelvo a los experimentos de M. Franklin, sobre los que me queda todavía alguna cosa por responderos. Del fenómenos de Marly-la-Ville, de los descubrimientos que se han hecho después, se han obtenido las siguientes consecuencias, la primera que la materia del Trueno es la misma que la de la Electricidad; la segunda que mediante las barras de hierro puntiagudas se puede sin hacer ruido sin daños sacar toda la materia fulminante de una nube tormentosa... después de haber dicho todo lo que conviene para impedir el error de asegurarse, quisiera que no se olvidada nunca que M. Franklin ha dado un salto...(Nollet,1752,21).

... no es muy razonable creer que la tormenta es un fenómeno eléctrico; que la materia de este meteoro es la misma que excitamos en una barra de hierro, o en un animal, cuando conseguimos un cuerpo electrizado? ...(Nollet, 1752, p. 22).

Diferencias y semejanzas entre Laura Bassi y Mariangela Ardinghelli

Cualquier aproximación a la historia de la ciencia debe tener en cuenta el contexto histórico y social en que se desarrolla la actividad científica (Solsona, Quintanilla, 2012). Por ello, parece conveniente no describir la práctica científica del siglo XVIII, diciendo que Las "*Lettres sur l'électricité*" contenían experimentos de "física recreativa", ya que recogen la práctica científica del momento en Europa.

Bassi y Ardinghelli forman parte de la tradición oculta de mujeres científicas que sólo se hace explícita en algunas ocasiones históricas

(Solsona, 2010). Afortunadamente, a través de las cartas que las dos mantuvieron con miembros de la Academia podemos reconstruir el trabajo realizado por ellas. Y el medallón y otras muestras icónicas que recogen sus retratos son un símbolo de la centralidad de sus figuras en la comunidad científica de la época y su entorno social.

Ardinghelli, a diferencia de otras mujeres sabias de la época no era una aristócrata ni nació en una familia de la clase media emergente. Bassi y Ardinghelli a pesar de nacer en familias con status social diferente, tuvieron las dos una esmerada educación, en matemáticas, filosofía natural, inglés, francés y latín. Afortunadamente, los padres respectivos les proporcionaron tutores que impartieran su enseñanza en las materias básicas. Las dos realizaron su introducción en la práctica científica a través de tertulias, con la autorización de la familia y tuvieron un mentor masculino.

Laura Bassi es una de las mujeres más interesantes de la temprana Edad Moderna (Cavazza 2011). Se casó joven, con veintisiete años, con el médico y físico Giuseppe Veratti. En cambio, Mariangela Ardinghelli continuó estudiando, se mantuvo soltera y se recluyó en casa tras la muerte de su padre. No se casó hasta 1777, a la edad de 47 años, después de la muerte de su padre y de su madre, siguiendo una estrategia que combinó visibilidad, con las traducciones y su trabajo en el *Palazzo Tarssi*, con la modestia esperada en una mujer.

Las dos contribuyeron a la constitución de una red de experimentadores que conectó Italia con la cultura científica de Francia e Inglaterra. Aunque hubo otras mujeres ilustradas en la época, Laura Bassi fue la que recibió el mayor reconocimiento universitario. En su época se han identificado mujeres que trabajaron en la actividad científica, pero se mantuvieron en un segundo plano, ya sea como ayudantes o asistentes, probablemente

porque esto suponía mala reputación. No es éste el caso de Laura Bassi ni de Mariangela Ardinghelli, ya que tuvieron mayor proyección pública que algunos de sus contemporáneos. Ardinghelli mostró su autoridad en la traducción de los libros de Stephen Hales, y en un contexto menos público con las cartas que dirigió a Nollet, donde manifiesta su dependencia con los sabios locales, presentándose como un árbitro objetivo de la información que recibía y pasaba a la Academia de Ciencias de París.

Ardinghelli inventó estrategias originales para llevar a cabo su trabajo, escogió la protección y el anonimato en el momento de su máxima popularidad, para proteger su buena reputación. Fue conocida por su simplicidad estudiosa, que se transmitió boca a boca. Paradójicamente, en la Academia de Ciencias de París que no admitía mujeres, hay una medalla con el retrato de Ardinghelli esculpida por Jean Jacques Caffieri en 1755, colgada en la sala de sesiones (Bertucci, 2013). Mariangela Ardinghelli utilizó la estrategia de construir capas de visibilidad selectiva que le permitieron mostrar su autoría en para audiencias específicas, al tiempo que la protegían de la burla y el aislamiento social (Bertucci, 2013).

El análisis comparativo de las cartas nos permite señalar que aunque no conocemos la fecha exacta de la dirigida a Laura Bassi, como Cavazza (2011) indica que está incluida en la edición de *Lettres sur l'électricité*, de Nollet 1767, destaca el uso de un lenguaje, más específico, que hoy diríamos más científico. A diferencia de la de Ardinghelli del 1572 que usa un lenguaje más general al describir los fenómenos eléctricos.

En resumen, podemos indicar que por lo menos, dos factores influyeron de manera decisiva en el acceso de las mujeres a la actividad científica: el entorno familiar y el carácter *amateur* de la misma. Por último, aunque

no haya sido el centro de este estudio señalar que Nicola Ardinghelli, el padre de Mariangela no diseñó sesiones espectaculares para exhibir la cultura y los saberes de Mariangela, a diferencia de Don Pietro Agnesi, que creó las condiciones que permitieron que su hija fuera conocida por la élite napolitana, probablemente con la intención de que pudiera casarse con un profesional

Referencias bibliográficas

- Algarotti, F. (1739) *Il newtonianismo er le dame, ovvero Dialoghi sopra la luce, i colori, e l'attrazione*, Napoli, Venezia.
- Ardinghelli, Mariangela (1756) *Statica de vegetabili ed analisi dell'aria. Opera del doctor Stefano Hales* https://books.google.es/googlebooks/images/kennedy/insert_link.png
- Bertucci, P (2013) The In/visible Woman. Mariangela Ardinghelli and the Circulation of Knowledge between Paris and Naples in the Eighteen Century. *Isis*, 104, 2226- 249
- Cavazza, M (2009) Laura Bassi and Giuseppe Veratti: an electric couple during the Enlightenment. *Contributions to Science*, 5 (1): 115–128 (2009)
- Cavazza, M (2011) *Laura Bassi. Bologna Classics Online Bologna Science Classics Online* <http://www.cis.unibo.it/cis13b/bsco3/bassi/bassinotbyed/bassinotbyed.pdf>
- Findlen, P (1993) Science as a Career in Enlightenment Italy: The strategies of Laura Bassi, *Isis*, 84, 441-469
- Grapi, (2012) Dels aires als gasos. Una aproximació històrica al procés de conceptualització de l'estat gasós. *Educació química*, 11, 4-11
- Nollet, J.P (1749) *Journal du voyage de Piémont et d'Italie en 1749, Soisson, Bibliothèque*

Municipale, MS 150, 229 <https://archive.org/details/lettereinediteal00bassuoft>

Nollet (s/d) *Lettere inedite alla celebre Laura Bassi scritte da illustri italiani e stranieri*, Bologna, Generelli, 99-103

Quintanilla, M; Solsona, N; García, A; Alvarez, M (2014) Uso de la Historia de la Química como dispositivo teórico y praxiológico para promover Competencias de Pensamiento Científico, en Quintanilla, M. "*Las Competencias de Pensamiento Científico desde las 'emociones, sonidos y voces' del aula*". Santiago de Chile, Bellaterra, 53-96.

Solsona, N (1997) *Mujeres científicas de todos los tiempos*. Madrid, Talasa

Solsona, N (2000) La autoridad de las científicas a lo largo de la historia de la ciencia. En Alicia Gil (ed.) *Mujeres. Mediar para reconocer otros mundos en este mundo*. Castelló, Fondo Social Europeo.

Solsona, N; Quintanilla, M. (2012) La historia de la ciencia en contexto escolar: un ejemplo de uso didáctico de biografías científicas. VIII ENPEC <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R0949-1.pdf> [29/05/2013]



Reflexiones socio - históricas en torno a la dilucidación de la estructura del ADN: Una Experiencia educativa

Socio – historical reflections on the elucidation of the DNA structure: An educational experience

Latorre, B. Pilar

Fundación Universidad Autónoma de Colombia
pilarlatorreb@gmail.com

Aristizabal, F. Andrea

Fundación Universidad Autónoma de Colombia
andrea_aristizabal@hotmail.com

Cortez, R. Leonardo

Fundación Universidad Autónoma de Colombia
leopechan@gmail.com

Resumen

En el presente artículo se realiza una reconstrucción socio-histórica de la dilucidación de la estructura del ADN, como una estrategia de enseñanza diseñada, implementada y evaluada, para presentar a estudiantes de educación básica y media una serie de eventos, tensiones actitudes y protagonistas de la ciencia, en ocasiones relegados, buscando generar en los jóvenes transformaciones en su imagen de ciencia a partir de nuevas interpretaciones y sus implicaciones educativas.

Abstract

In this article is performed a socio-historical reconstruction of the elucidation of the structure of DNA as a teaching strategy designed, implemented and evaluated, to introduce students to basic and secondary education a series of events, attitudes tensions and actors science, sometimes relegated, seeking to generate in young people transformations in its image of science from new interpretations and its educational implications.



Palabras Clave

Historia de las ciencias, ADN, Enseñanza, Aprendizaje.



Key Words

History of science, DNA, Teaching, Learning.



Introducción

La inclusión de la historia y la filosofía de las ciencias en los procesos de enseñanza y de aprendizaje en los diferentes niveles de escolaridad, cada vez cobran mayor importancia. El acercamiento por parte de los profesores y estudiantes a las formas cómo se produce el conocimiento científico, su actividad y sus protagonistas, permite generar posturas crítico-reflexivas de quienes se involucran en él. El trabajo científico más allá de ser considerado como una posible forma de comprender el mundo que nos rodea es una actividad humana, y por consiguiente se ve influenciado por el contexto social, político, económico y académico en el que se desarrolla. Las relaciones que se dejan entre ver de poder, conflicto de intereses, discriminación entre otros, no son solo evidentes en nuestra sociedad actual, sino que son fenómenos que han caracterizado a la sociedad en diferentes momentos de la historia. Si bien la ciencia ha buscado el beneficio y el progreso de la humanidad así, también ha sido empleada con otros fines que en ocasiones ponen en duda su carácter ético y moral. Situaciones como la clonación, la guerra biológica, la transgénesis y la eugenesia entre otros, muchas veces han surgido por intereses que no son exclusivamente del ámbito científico, y por lo tanto responden a situaciones de conflicto, de poder o de tensión en la sociedad. Desde esta mirada reflexiva y crítica se presentan los siguientes hechos que enmarcaron uno de los trabajos científicos más influyentes para la humanidad en los últimos años: la dilucidación de la estructura del ADN.

El preludeo de un éxito científico

La dilucidación de la estructura del ADN es considerada como una de las más importantes en la historia de las ciencias del siglo XX, y aunque se atribuyó a James Dewey Wat-

son (1928 -) y Francis Crick (1916 - 2004) en 1953, son muchos más los científicos involucrados en esta hazaña científica. El origen de la genética molecular como rama de la biología tiene sus inicios en la misma época en que Charles Robert Darwin (1809 - 1882) naturalista inglés, formula y publica su teoría sobre la evolución de las especies a partir de un antepasado común (Darwin, 2009) titulada "El Origen de las Especies por medio de la Selección Natural". Paralelo a este trabajo el monje agustino católico Gregor Mendel (1822-1884), deduce y publica las leyes que llevan su nombre a partir de estudios con diferentes variedades de arveja (*Pisum sativum*) y establece que existen factores que rigen la herencia genética, en un artículo científico titulado "*Experiments in Plants Hybridization*" (Mendel, 1866). Esto sirvió como hecho para el redescubrimiento del trabajo de Mendel que fue protagonizado por científicos de renombre durante inicios del siglo XX en los que se destacan los botánicos Hugo De Vries (1848-1935) de Holanda, Carl Correns (1864-1933) de Alemania y Erick Tschermak Von Seysenegg (1871-1962) de Austria; quienes después de la contrastación de los resultados obtenidos en sus propias investigaciones, reconocen y validan el importante trabajo de Mendel (Guevara, 2004).

Paralelamente a estos estudios realizados, otros científicos investigaban la estructura del núcleo celular. En el año de 1869 cuando el médico suizo Frederich Miesher (1844-1895) logra aislar por primera vez ácidos nucleicos a partir de muestras de leucocitos (células de pus) obtenidas de la donación de las vendas usadas por pacientes heridos en combate en una clínica cerca de su laboratorio. Miesher (1844-1895), aplicó un protocolo de extracción muy eficaz, creado por él mismo y logró aislar de los núcleos de los leucocitos una sustancia que denominó nucleína. Sin embargo, su hallazgo no toma relevancia hasta el año de 1874, cuando trabajando con muestras de

espermatozoides de carpas y salmones del río Rhin tomadas durante el invierno, vuelve a ser el centro de atención de la comunidad científica de la época por su trabajo sobre la nucleína, aunque desconociendo por completo la relación que ésta podría tener con la transmisión de caracteres (Ortíz, 2003).

Por la misma época, Walther Flemming (1843 - 1905), genetista de origen alemán y cofundador del estudio de la citogenética observó estructuras en el interior del núcleo celular en forma de cinta por medio de protocolos de tinción, a las que llamó cromatina (Flemming, 2001). En la actualidad se reconoce que los “factores hereditarios” de Mendel (1822-1884) están constituidos por el ADN, que a su vez forman la nucleína de Miesher (1844-1895) contenida en los cromosomas presentes en la cromatina de la cual hablaba Flemming (1843-1905).

En camino hacia la estructura del ADN

46

Con los trabajos de Mendel en auge y validados por gran parte de la comunidad científica empieza el surgimiento de una rama de la biología determinante en la historia de las ciencias: la genética. Iniciando el siglo XX Walter Stanborough Sutton (1877-1916), médico y genetista nacido en Utica Estados Unidos y graduado en citología en la Universidad de Kansas, llega a la universidad de Columbia para continuar sus estudios en zoología de la mano de su mentor el doctor Edmund B. Wilson (1856-1939), zoólogo embriólogo y genetista también estadounidense. Para el año de 1902 propone que las leyes mendelianas de la herencia podrían aplicarse a los cromosomas a nivel celular. Sutton considera a los cromosomas como unidades de la herencia, y señala que varios alelos deben residir en un cromosoma y por lo tanto se heredan como unidad. La posibilidad de recombinación fue observada por primera vez por el botánico y

genetista holandés Hugo De Vries (1848-1935) en 1903, presagiando el trabajo posterior al realizar cruces en moscas del género *Drosophilla* (Crow, 2002). Sutton, sin embargo, le atribuyó tal capacidad a las proteínas y no a los ácidos nucleicos, a los que limitaba a una simple estructura de soporte para las proteínas nucleares.

Thomas Hunt Morgan (1866-1945), embriólogo y genetista nacido en Pasadena California en el año de 1911, publicó el primer mapa cromosómico de un organismo, la mosca del vinagre o *Drosophila melanogaster*, señalando la posición relativa de cinco genes sexuales. Diez años más tarde logró ubicar más de 2.000 genes de *Drosophila*; de esta forma demostró la teoría cromosómica de Sutton que le significó ser galardonado con el premio Nobel de Fisiología y medicina en el año de 1933 por corroborar que los cromosomas son los portadores de los genes y por lo tanto de la herencia.

Por más de veinte años permaneció la idea que en los cromosomas habían proteínas y ácidos nucleicos, y que uno de los dos debería ser la molécula portadora de la herencia. En el año de 1928, Frederick Griffith (1879 - 1941), oficial médico y genetista nacido en Hale Inglaterra implementó un procedimiento en bacterias del género neumococo que bautizó con su mismo nombre, para encontrar una vacuna contra la neumonía. De esta forma propuso acertadamente que la molécula portadora de la herencia debía ser el ácido desoxirribonucleico (ADN).

Años más tarde, Oswald Avery (1877-1955), médico investigador nacido en Halifax Nueva Escocia Canadá, junto con Colin Munro MacLeod (1909 - 1972), genetista nacido en Port Hastings, Nueva Escocia, Canadá y Maclyn McCarty (1911- 2005), genetista estadounidense nacido en South Bend Indiana, retomaron el trabajo de Griffith con neumococos y en el año de 1944, logran identificar

el «principio de transformación» de Griffith con el ADN demostrando sin lugar a duda que la molécula de la vida es el ADN (González, 2003).

Sin embargo, el viejo problema seguía latente: ¿cómo transporta y transmite la información genética el ADN? La respuesta debía estar en su estructura, y es aquí donde aparecen los protagonistas de esta historia. Para comienzos del siglo XX ya se habían identificado los elementos fundamentales de los ácidos nucleicos. En el Instituto Rockefeller de Investigaciones médicas el científico Phoebus Aaron Theodore Levene, (1869 - 1940) bioquímico ruso-estadounidense dedujo a partir de sus estudios, la estructura de lo que hoy se conoce como nucleótido. El ADN (ácido desoxirribonucleico) resultó ser una molécula compleja formada unidades moleculares más pequeñas denominadas nucleótidos. Cada nucleótido, a su vez, se encuentra constituido por un grupo fosfato, un azúcar simple (desoxirribosa) y una base nitrogenada (adenina, guanina, citosina o timina). En 1909 demostró que la ribosa era el azúcar presente en los ácidos nucleicos de la levadura y en 1920 comprobó la presencia de la desoxirribosa en el ADN; a partir de estos

hallazgos en 1929 se establece que existen dos tipos de ácidos nucleicos el ADN y el ARN (Guevara, 2004).

La doble hélice del ADN

Rosalind Elsie Franklin (1920-1958), recordada como “La dama ausente”, nació en Notting Hill, Londres, el 25 de julio de 1920. Realizó sus estudios universitarios, en física, química y matemáticas, en el Newnham College, el colegio mayor femenino de la Universidad de Cambridge. Por esa época a las mujeres en Cambridge no se les otorgaba el grado de licenciado, no se les consideraba parte del claustro y se limitaba el número de doctorandas a un 10% como mucho; es aquí donde el reconocimiento del trabajo científico realizado por las mujeres es cuestionado y poco valorado, dadas las condiciones socio-culturales de la época. Sin embargo, pese a la adversidad del contexto no deja sus investigaciones. Antes de trabajar con el ADN, Rosalind estudió los cristales de carbón y tras obtener su doctorado se especializó en la técnica de difracción de rayos X. Posteriormente regresó a Londres a trabajar en el King's College dirigido por Sir John T. Randall (1905-1984), donde obtuvo la famosa foto-

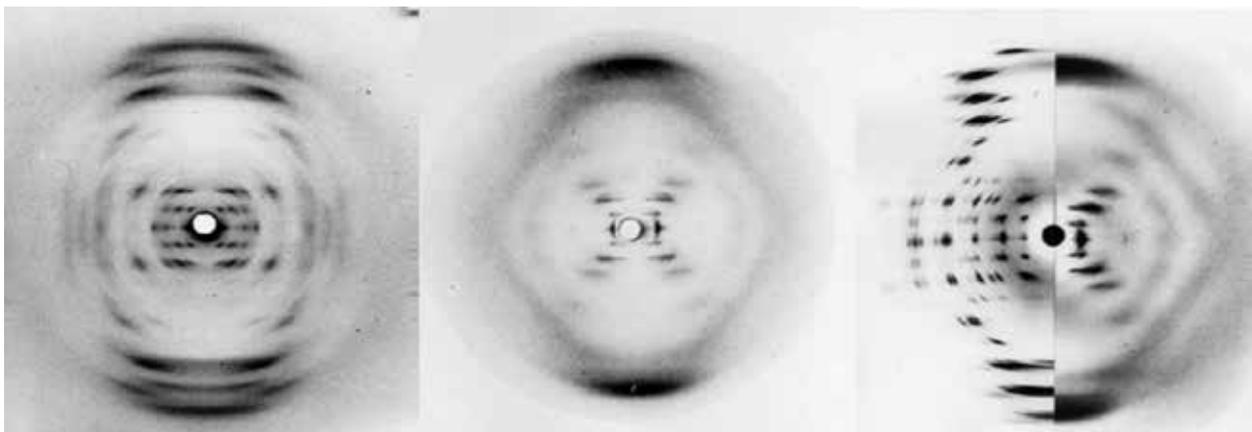


Figura 1. Fotografía 51: *Izquierda*: foto de difracción de rayos-X de ADN-A (75% humedad). *Centro*: foto de ADN-B (92% humedad). *Derecha*: comparación de ambos patrones. [Imagen comparativa de la difracción de rayos-X de ADN] Recuperado de: <http://aargentinapciencias.org/2/images/RevistasCel/tomo64-3/Paginas25-50-desdeRevista64-3.pdf>

grafía 51 (figura 1). Maurice Hugh Frederick Wilkins (1916 - 2004), físico y especialista en rayos X, mostró imprudentemente a James Dewey Watson dicha fotografía, quien en colaboración con el británico Francis Crick (1916-2004), la utilizaron como pieza clave para proponer la estructura final del ADN.

Debido a las tensas relaciones entre Franklin y Wilkins en el King's College y con el ánimo de liberar tensiones, Randall pide a Franklin que le ceda su trabajo a Wilkins y abandone el laboratorio a través de un comunicado bastante tosco (figura 2). Watson estaba obsesionado por vencer a su compatriota, Linus Carl Pauling (1901 - 1994) bioquímico y activista estadounidense, en la carrera por descifrar la estructura del ADN (Vicente, 2008).

En noviembre de 1951 Franklin y Wilkins tenían los suficientes datos para proponer que el ADN era una estructura helicoidal formada por un azúcar y un grupo fosfato que se encontraban en el exterior de la molécula y que las bases nitrogenadas deberían aparecer al interior. Contrario a esta afirmación y de forma errada Watson y Crick elaboraron una estructura aunque también helicoidal, de tres hebras con la secuencia de azúcar y fosfato hacia el interior de la molécula y una conformación de bases nitrogenadas al exterior unidas por iones de magnesio. Esta dilucidación la presentan en Cavendish ante Wilkins, Franklin y su alumno Raymond Gosling, de quienes recibieron fuertes críticas, especialmente de Franklin, quien les argumentaba que:

- El ión Mg^{2+} no puede jugar el rol de neutralizar la repulsión electrostática entre fosfatos negativos vecinos pues en un medio biológico estaría rodeado por una coraza de moléculas de agua;
- El ADN está fuertemente hidratado, contrariamente al modelo propuesto que contiene ¡diez veces menos agua que el valor experimental!;
- La gran afinidad del ADN por el agua sugiere que los fosfatos (hidrofílicos) deben estar en el exterior, no el interior de la molécula (Piro, 2012).

Enterado de este descalabro, Sir William Lawrence Bragg (1890-1971) director del laboratorio de investigación de Cavendish, les ordena a Watson y a Crick dejar el estudio estructural del ADN a los miembros del grupo de investigadores de Wilkins (1916 - 2004), y volver a sus tareas específicas: la estructura del virus del mosaico del tabaco con su ácido nucleico (ARN) y la estructura de la hemoglobina, respectivamente (Guevara, 2004).

El 28 de febrero de 1953, Watson (1928 -) y Crick (1916 - 2004), habían descifrado la estructura del ADN, inmediatamente se dirigieron al Pub "The Eagle" donde Crick (1916 - 2004) exclamó la famosa

UNIVERSITY OF LONDON KING'S COLLEGE.

From The Wheatstone Professor of Physics,

J. T. RANDALL, F.R.S.

TEMPLE BAR 5653.

STRAND, W.C.2.

Miss R.E. Franklin,
Birkbeck College Research Laboratory,
21 Torrington Square,
London, W.C.1

17th April 1953

Dear Miss Franklin,

You will no doubt remember that when we discussed the question of your leaving my laboratory you agreed that it would be better for you to cease to work on the nucleic acid problem and take up something else. I appreciate that it is difficult to stop thinking immediately about a subject on which you have been so deeply engaged, but I should be grateful if you could now clear up, or write up, the work to the appropriate stage. A very real point about which I am a little troubled is that it is obviously not right that Gosling should be supervised by someone not specifically resident in this laboratory. You will realise that the necessary reorganisation for this purpose which arises from your departure cannot really proceed while you remain, in an intellectual sense, a member of the laboratory.

Yours sincerely,

J.T. Randall

Figura 2. Carta de Randall (1905 - 1984) a Franklin (1920-1958). [Imagen de la carta de despido del director del King's College a Rosalind Franklin] Recuperado de: <http://www.madrimasd.org/blogs/microbiologia/2008/08/11/98520>

frase "... encontramos el secreto de la vida...". La revista Nature recibió el manuscrito de Watson (1928 -) y Crick (1916 - 2004) el 3 de abril de 1953 y fue publicado el 25 de abril de este mismo año, con el nombre de "Molecular Structure of Nucleic Acids" en un artículo de una página de aproximadamente 900 palabras (figura 3). En la misma revista y publicación (Nature, vol. 171, Abril 1953) aparece un artículo de Wilkins (1916 - 2004) con dos de sus colaboradores, titulado "Molecular Structure of Desoxyribose Nucleic Acids" (figura 4) y otro de Franklin (1920-1958) y Gosling (1926 - 2015), bajo el nombre "Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate" (figura 5), ambos sobre la estructura molecular del ADN; todos ellos habían llegado a las mismas conclusiones (Ortíz, 2003).

Este maratónico trabajo de la actividad científica y sus protagonistas, demuestra como una comunidad centrada en los mismos intereses, retoma y hace uso de los aportes de Rosalind, elementos que fueron claves para la deducción definitiva de la estructura molecular del ADN. Como se puede constatar desde la evidencia histórica, no se da reconocimiento alguno al trabajo de Franklin en su momento.

MOLECULAR STRUCTURE OF NUCLEIC ACIDS

A Structure for Deoxyribonucleic Acid

WE wish to suggest a structure for the salt of deoxyribonucleic acid (DNA). The structure has some features which are of considerable biological interest.

A structure for nucleic acid has already been proposed by Pauling and Corey. They kindly made their manuscript available to us in advance of publication. Their model consists of three inter-related chains with the phosphate near the fibre axis and the bases on the outside. In our opinion, this structure is unsatisfactory for two reasons: (1) We believe that the phosphate which gives the X-ray diffraction its only real free node. Without the water hydrogen atoms it is not clear what forces would hold the structure together, especially as the negatively charged phosphate near the axis will repel each other. (2) Some of the structural details appear to be too small.

Another three-chain structure has also been suggested by Tinoco in the press. It has placed the phosphate near the outside and the bases on the inside, linked together by hydrogen bonds. This structure as described is rather unsatisfactory, and for this reason we shall not comment on it.

We wish to propose a model for the salt of deoxyribonucleic acid. This structure has two helical chains each wound round the same axis and diagram. We have made the main chemical assumptions, namely, that each chain consists of phosphate groups joined by 3'-5' phosphates. The two chains are linked by a spiral perpendicular to the fibre axis. Both chains follow right-handed helices, but owing to the spiral the separation of the chains in the two chains is in opposite directions. Each chain locally resembles Pauling's model No. 1. Just as the bases are on the inside of the fibre axis the phosphates are on the outside. The conformation of the sugar and the atoms near it is close to Pauling's 'stacked deoxyribose', the sugar being slightly perpendicular to the fibre axis. There is a residue in which every 3.4 A. is the distance. We have assumed an angle of 36° between adjacent residues in the same chain so that the structure repeats itself 10 residues on each chain, that is after 34 A. The distance of a phosphate atom from the fibre axis is 10 A. As the phosphate is on the outside, electron density is very close to them.

The structure is an open one and its water content is rather high. As long water content we would expect the bases to be so that the structure could become more compact.

The main feature of the structure is the regions in which the two chains are held together by the pairs and pyrimidine bases. The p axes of the bases are perpendicular to the fibre axis. They are joined

together in pairs, a single base from one chain being hydrogen-bonded to a single base from the other chain, so that the two lie side by side with identical orientations. If we take the pair as a unit and the chain is symmetrical in bonding to each. The hydrogen bonds are made as follows: cytosine position 4 to guanine position 7; uracil position 4 to thymine position 6.

If it is assumed that the bases only occur in the sequence in the most probable order (C-G-C-T) that is, with the bases rather than the nucleotides, it is found that only specific pairs of bases can bond together. These pairs are: adenine (paired with thymine) cytosine, and guanine (paired with cytosine) (C-G-C-T).

In other words, the same forms the transfer of a pair on either side, then on these assumptions the other transfer must be C-T-G-A; similarly for guanine and cytosine. The sequence of bases on a single chain does not appear to be restricted in any way. However, if only specific pairs of bases can be formed, it follows that if the sequence of bases on one chain is given, then the sequence on the other chain is automatically determined.

It has been found experimentally that the ratio of the amounts of adenine to thymine and the ratio of guanine to cytosine are always very close to unity for deoxyribonucleic acid.

It is probably impossible to build this structure with a fibrous strand in place of the deoxyribose, as the entire oxygen atom would have to be close to the fibre axis.

The previously published X-ray data of deoxyribonucleic acid are insufficient for a rigorous test of our structure. So far as we can tell, it is roughly compatible with the experimental data, but it may be regarded as supported until it has been checked against them more fully. Some of these are given in the following communications. We wish not to give our structure, which rests mainly on rough not usually published experimental data and approximate arguments.

It has not escaped our notice that the specific pairing we have postulated immediately suggests a possible copying mechanism for the gene if external.

Full details of the structure, including the conditions concerned in building it, together with a set of illustrations for the atoms, will be published shortly.

We are much indebted to Dr. Jerry Donohue for crystallographic and electron, especially in order, atomic distances. We have also been stimulated by a knowledge of the general nature of the unpublished experimental results and views of Dr. M. H. F. Wilkins, Dr. F. R. S. Franklin and their co-workers at King's College, London. One of us (J. D. W.) has been aided by a fellowship from the National Foundation for Research in Biology.

J. D. WATSON
F. H. C. CRICK

Medical Research Council Unit for the Study of the Molecular Structure of Biological Systems, Cavendish Laboratory, Cambridge, April 2.

FRANKLIN, R. & WILKINS, M. H. F. (1953). Proc. Roy. Soc. London, Ser. B, 41, 136-157.
FRANKLIN, R. & WILKINS, M. H. F. (1953). Nature, 191, 391-393.
FRANKLIN, R. & WILKINS, M. H. F. (1953). Nature, 191, 393-394.
FRANKLIN, R. & WILKINS, M. H. F. (1953). Nature, 191, 394-395.
FRANKLIN, R. & WILKINS, M. H. F. (1953). Nature, 191, 395-396.
FRANKLIN, R. & WILKINS, M. H. F. (1953). Nature, 191, 396-397.
FRANKLIN, R. & WILKINS, M. H. F. (1953). Nature, 191, 397-398.

James Watson

Francis Crick

51

Figura 3. Artículo de Watson (1928 -) y Crick (1916 - 2004) publicado por la revista Nature en Abril de 1953. [Imagen del artículo "Molecular Structure of Nucleic Acids"]. Recuperado de: http://www1.gifu-u.ac.jp/~lsrc/public_html_e/greet/watson_crick.html

King's College, London. One of us (J. D. W.) has been aided by a fellowship from the National Foundation for Infantile Paralysis.

J. D. WATSON
F. H. C. CRICK

Medical Research Council Unit for the Study of the Molecular Structure of Biological Systems, Cavendish Laboratory, Cambridge.

Franklin Crick

- April 2.
- ¹ Pauling, L., and Corey, R. B., *Nature*, **171**, 346 (1952); *Proc. U.S. Nat. Acad. Sci.*, **29**, 81 (1952).
- ² Furberg, S., *Acta Chem. Scand.*, **6**, 634 (1952).
- ³ Chargaff, E., for references see Zaccarelli, S., Braverman, G., and Chargaff, E., *Biochim. et Biophys. Acta*, **9**, 462 (1952).
- ⁴ Wyatt, G. B., *J. Gen. Physiol.*, **26**, 251 (1952).
- ⁵ Astbury, W. T., *Struc. Soc. Exp. Biol.*, **1**, Nucleic Acids, 66 (Camb. Univ. Press, 1947).
- ⁶ Wilkins, M. H. F., and Randall, J. T., *Biochim. et Biophys. Acta*, **10**, 192 (1952).

Molecular Structure of Deoxyribose Nucleic Acids

WHILE the biological properties of deoxyribose nucleic acid suggest a molecular structure containing great complexity, X-ray diffraction studies described here (cf. Astbury¹) show the basic molecular configuration has great simplicity. The purpose of this communication is to describe, in a preliminary way, some of the experimental evidence for the polynucleotide chain configuration being helical, and existing in this form when in the natural state. A fuller account of the work will be published shortly.

The structure of deoxyribose nucleic acid is the same in all species (although the nitrogen base ratios alter considerably) in nucleoprotein, extracted or in cells, and in purified nucleate. The same linear group of polynucleotide chains may pack together parallel in different ways to give crystalline²⁻³, semi-crystalline or paracrystalline material. In all cases the X-ray diffraction photograph consists of two regions, one determined largely by the regular spacing of nucleotides along the chain, and the other by the longer spacings of the chain configuration. The sequence of different nitrogen bases along the chain is not made visible.

Oriented paracrystalline deoxyribose nucleic acid ('structure B' in the following communication by Franklin and Gosling) gives a fibre diagram as shown in Fig. 1 (cf. ref. 4). Astbury suggested that the strong 3.4-A. reflexion corresponded to the internucleotide repeat along the fibre axis. The ~34 A. layer lines, however, are not due to a repeat of a polynucleotide composition, but to the chain configuration repeat, which causes strong diffraction as the nucleotide chains have higher density than the interstitial water. The absence of reflexions on or near the meridian immediately suggests a helical structure with axis parallel to fibre length.

Diffraction by Helices

It may be shown⁵ (also Stokes,⁶ unpublished) that the intensity distribution in the diffraction pattern of a series of points equally spaced along a helix is given by the squares of Bessel functions. A uniform continuous helix gives a series of layer lines of spacing corresponding to the helix pitch, the intensity distribution along the *n*th layer line being proportional to the square of *J_n*, the *n*th order Bessel function. A straight line may be drawn approximately through

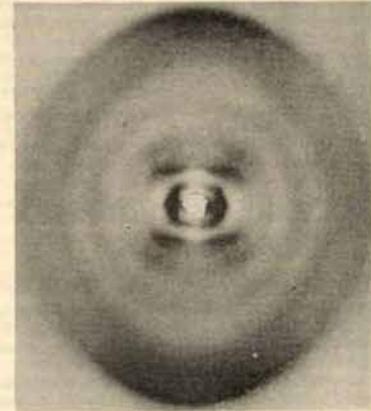


Fig. 1. Fibre diagram of deoxyribose nucleic acid from *D. coli*. Fibre axis vertical.

the innermost maxima of each Bessel function and the origin. The angle this line makes with the equator is roughly equal to the angle between an element of the helix and the helix axis. If a unit repeats *n* times along the helix there will be a meridional reflexion (*J_n*²) on the *n*th layer line. The helical configuration produces side-bands on this fundamental frequency, the effect⁵ being to reproduce the intensity distribution about the origin around the new origin, on the *n*th layer line, corresponding to *C* in Fig. 2.

We will now briefly analyse in physical terms some of the effects of the shape and size of the repeat unit or nucleotide on the diffraction pattern. First, if the nucleotide consists of a unit having circular symmetry about an axis parallel to the helix axis, the whole diffraction pattern is modified by the form factor of the nucleotide. Second, if the nucleotide consists of a series of points on a radius at right-angles to the helix axis, the phases of radiation scattered by the helices of different diameter passing through each point are the same. Summation of the corresponding Bessel functions gives reinforcement for the inner-

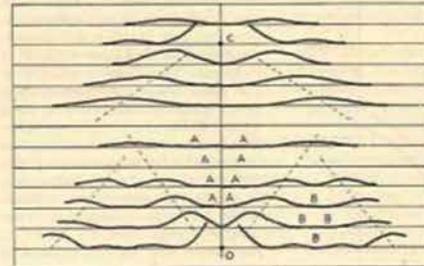


Fig. 2. Diffraction pattern of system of helices corresponding to structure of deoxyribose nucleic acid. The squares of Bessel functions are plotted about O on the equator and on the first, second, third and fifth layer lines for half of the nucleotide mass at 20 A. diameter and remainder distributed along a radius, the mass at a given radius being proportional to the radius. About C on the tenth layer line similar functions are plotted for an outer diameter of 12 A.

Figura 4. Artículo de Wilkins (1916 - 2004) y colaboradores publicado por la revista Nature en Abril de 1953. [Imagen del artículo "Molecular Structure of Desoxyribose Nucleic Acids"]. Recuperado de: <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/papers/corr68.11-reprint-19530425-02.html>

We wish to thank Prof. J. T. Randall for encouragement; Profs. E. Chargaff, R. Signer, J. A. V. Butler and Drs. J. D. Watson, J. D. Smith, L. Hamilton, J. C. White and G. R. Wyatt for supplying material without which this work would have been impossible; also Drs. J. D. Watson and Mr. F. H. C. Crick for stimulation, and our colleagues R. E. Franklin, R. G. Gosling, G. L. Brown and W. E. Seeds for discussion. One of us (H. R. W.) wishes to acknowledge the award of a University of Wales Fellowship.

M. H. F. WILKINS
Medical Research Council Biophysics
Research Unit,

A. R. STOKES
H. R. WILSON
Wheatstone Physics Laboratory,
King's College, London.
April 2.

¹ Ashbury, W. T., *Symp. Soc. Exp. Biol.*, 1, *Nucleic Acid* (Cambridge Univ. Press, 1947).

² Miller, D. F., and Oster, G., *Biochim. et Biophys. Acta*, 7, 526 (1951).

³ Wilkins, M. H. F., Gosling, R. G., and Woods, W. E., *Nature*, 147, 759 (1953).

⁴ Ashbury, W. T., and Bell, F. O., *Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol.*, 6, 109 (1938).

⁵ Cochran, W., Crick, F. H. C., and Vand, V., *Acta Cryst.*, 8, 561 (1952).

⁶ Wilkins, M. H. F., and Randall, J. T., *Biochim. et Biophys. Acta*, 10, 492 (1953).

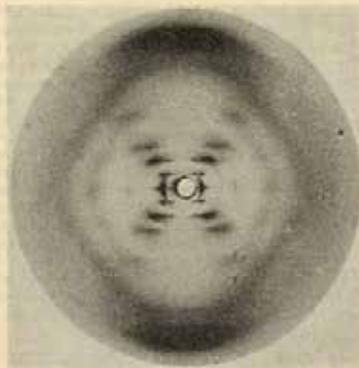
Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate

SODIUM thymonucleate fibres give two distinct types of X-ray diagram. The first corresponds to a crystalline form, structure *A*, obtained at about 75 per cent relative humidity; a study of this is described in detail elsewhere¹. At higher humidities a different structure, structure *B*, showing a lower degree of order, appears and persists over a wide range of ambient humidity. The change from *A* to *B* is reversible. The water content of structure *B* fibres which undergo this reversible change may vary from 40-50 per cent to several hundred per cent of the dry weight. Moreover, some fibres never show structure *A*, and in these structure *B* can be obtained with an even lower water content.

The X-ray diagram of structure *B* (see photograph) shows in striking manner the features characteristic of helical structures, first worked out in this laboratory by Stokes (unpublished) and by Crick, Cochran and Vand². Stokes and Wilkins were the first to propose such structures for nucleic acid as a result of direct studies of nucleic acid fibres, although a helical structure had been previously suggested by Furberg (thesis, London, 1949) on the basis of X-ray studies of nucleosides and nucleotides.

While the X-ray evidence cannot, at present, be taken as direct proof that the structure is helical, other considerations discussed below make the existence of a helical structure highly probable.

Structure *B* is derived from the crystalline structure *A* when the sodium thymonucleate fibres take up quantities of water in excess of about 40 per cent of their weight. The change is accompanied by an increase of about 30 per cent in the length of the fibre, and by a substantial re-arrangement of the molecule. It therefore seems reasonable to suppose that in structure *B* the structural units of sodium thymonucleate (molecules or groups of molecules) are relatively free from the influence of neighbouring



Sodium deoxyribose nucleate from calf thymus. Structure *B*

molecules, each unit being shielded by a sheath of water. Each unit is then free to take up its least-energy configuration independently of its neighbours and, in view of the nature of the long-chain molecules involved, it is highly likely that the general form will be helical³. If we adopt the hypothesis of a helical structure, it is immediately possible, from the X-ray diagram of structure *B*, to make certain deductions as to the nature and dimensions of the helix.

The innermost maxima on the first, second, third and fifth layer lines lie approximately on straight lines radiating from the origin. For a smooth single-strand helix the structure factor on the *n*th layer line is given by:

$$F_n = J_n(2\pi rR) \exp i n(\psi + \frac{1}{2}\pi),$$

where $J_n(u)$ is the *n*th-order Bessel function of *u*, *r* is the radius of the helix, and *R* and ψ are the radial and azimuthal co-ordinates in reciprocal space⁴; this expression leads to an approximately linear array of intensity maxima of the type observed, corresponding to the first maxima in the functions J_1, J_2, J_3 , etc.

If, instead of a smooth helix, we consider a series of residues equally spaced along the helix, the transform in the general case treated by Crick, Cochran and Vand is more complicated. But if there is a whole number, *m*, of residues per turn, the form of the transform is as for a smooth helix with the addition, only, of the same pattern repeated with its origin at heights mc^* , $2mc^*$, . . . etc. (*c* is the fibre-axis period).

In the present case the fibre-axis period is 34 Å, and the very strong reflexion at 3.4 Å, lies on the tenth layer line. Moreover, lines of maxima radiating from the 3.4-Å reflexion as from the origin are visible on the fifth and lower layer lines, having a J_4 maximum coincident with that of the origin series on the fifth layer line. (The strong outer streaks which apparently radiate from the 3.4-Å maximum are not, however, so easily explained.) This suggests strongly that there are exactly 10 residues per turn of the helix. If this is so, then from a measurement of R_n the position of the first maximum on the *n*th layer line (for $n \ll \infty$), the radius of the helix, can be obtained. In the present instance, measurements of R_1, R_2, R_3 and R_4 all lead to values of *r* of about 10 Å.

Figura 5. Artículo de Franklin (1920-1958) y Gosling (1926 - 2015), publicado por la revista Nature en Abril de 1953. Imagen del artículo "Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate". Recuperado de: <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/notes/sci9.001.20-10.html>

Culminación de la carrera por la deducción de la estructura del ADN

Estas publicaciones no tuvieron el éxito esperado durante sus primeros años en la comunidad científica y fue solo hasta cuando se explicó la duplicación del ADN, en la década de los 60s, que como reconocimiento a las investigaciones realizadas, les fue otorgado el premio Nobel en Fisiología o Medicina en 1962 a Watson (1928 -), Crick (1916 - 2004) y Wilkins (1916 - 2004). Rosalind Franklin (1920-1958) fallece a los 38 años a causa de cáncer de ovario por lo que no alcanza a ser reconocida con el premio Nobel junto con sus colegas (figura 6).



Figura 6. Watson (1928 -), Crick (1916 - 2004) y Wilkins (1916 - 2004) recibiendo el premio Nobel en Medicina en 1962. Recuperada de: <http://patermendaza.blogspot.com/2013/04/dia-mundial-del-adn-hace-60-anos-de-lo.html>.

La Experiencia Educativa

En un país como Colombia, los modelos de formación en ciencias experimentales están dados por lo que se conoce como Estándares Curriculares (lo que deben saber y saber hacer los estudiantes) que reglamentan los contenidos científicos a enseñar y las competencias que se han de desarrollar en niños y jóvenes en los diferentes niveles de formación. Si bien estos Estándares han de permitir el desarrollo del pensamiento crítico y la toma de decisiones responsables con el entorno en las nuevas generaciones, son escasos los elemen-

tos de la historia y filosofía de la ciencia que se incluyen, que no van más allá de situaciones anecdóticas y de poca reflexión, nivel que deja a Colombia en desarrollos inferiores de alfabetización y educación científica en relación con la tendencia mundial. Esto también ocasiona, que la formación de profesores reduzca su importancia, motivación, entusiasmo y valor en estos aspectos, lo que podría explicar parte de las dificultades en la comprensión y motivación por las ciencias. (Aristizábal, Martínez y Capera, 2014)

En consonancia con lo anterior, se propone una estrategia de enseñanza, que a partir de una breve reconstrucción histórica de la dilucidación de la estructura de la molécula del ADN, pretende ubicar los contextos y las tensiones científicas que se suscitaron con esta actividad. Se propone esta estrategia para aproximar a los estudiantes a conocer el contexto histórico y social de los momentos en los que se desarrolló este modelo, para conocer las tensiones y diferencias que se viven en la actividad científica y no presentarla como un producto ya terminado. Este tipo de narrativas muestra una imagen más humana de la ciencia revelando qué se intentó resolver, qué dificultades se presentaron, de qué manera fue presentada la propuesta ante la comunidad científica y cómo ha sido aceptada e institucionalizada socialmente.

La estrategia de enseñanza considera unos momentos específicos para acercar a los estudiantes a la comprensión y análisis crítico de la actividad científica y sus protagonistas.

Momento 1: La estructura del ADN, tensiones y realidades

1. Etapa de sensibilización y acercamiento a la temática objeto de estudio.

Lectura y actividad: Osos polares, los reyes del hielo. Aíslan por primera vez ADN de oso polar de una huella en la nieve. Tomado de: <http://www.muyinteresante.es/naturaleza/articulo/>

[aíslan-por-primera-vez-adn-de-oso-polar-de-una-huella-en-la-nieve-601409668243:](http://www.muyinteresante.es/naturaleza/articulo/aíslan-por-primera-vez-adn-de-oso-polar-de-una-huella-en-la-nieve-601409668243)

Actividades

Por medio de una historieta se representa el proceso que debieron realizar los científicos para lograr obtener ADN a partir de las huellas encontradas.

De acuerdo con la lectura anterior se solicita responder a las siguientes preguntas:

- Si no se conociera la estructura del ADN y su importancia en la determinación de especies, ¿Qué otra “cosa” utilizarías para identificar especies?
- ¿Por qué los científicos utilizan el ADN como evidencia para identificar las especies mencionadas?
- ¿Cuál puede ser la importancia de esta técnica en un futuro cercano para el reconocimiento de especies?

Momento 2: Propósitos de Enseñanza.

Una vez exploradas y analizadas las ideas que traen los estudiantes, se diseña la estrategia de enseñanza con unos propósitos de formación centrados en reconocer la estructura del ADN, su historia y sus relaciones con la Genética Mendeliana, para comprender por qué los genes son considerados los responsables de la herencia, cuál es su importancia en la actualidad y cuál puede ser su posible influencia en un futuro cercano. De otra parte, se busca reconocer el impacto social, político, económico, cultural y ambiental que han tenido los estudios y desarrollos genéticos, para generar en los estudiantes actitudes y aptitudes críticas y responsables frente a los productos de la ciencia que en su vida está expuesto a vivenciar.

Momento 3: Planificación Docente

Se realiza el proceso de planificación en función de las competencias ha desarrollar con

los estudiantes, considerando el programa curricular y las nuevas miradas que se esperan potenciar en los estudiantes:

Competencias:

Cognoscitivas:

- Identifica los antecedentes históricos en la construcción de la estructura del ADN y los relaciona con los trabajos realizados por Mendel para la comprensión de la herencia en situaciones cotidianas.
- Reconoce el ADN, los nucleótidos y sus componentes para entender la estructura de la doble hélice.

Procedimentales:

- Analiza y reflexiona los aportes de los científicos en la deducción de la estructura del ADN para reconocer el proceso que se llevó a cabo en el desarrollo de esta investigación.
- Realiza un modelo de la estructura del ADN para identificar y reconocer la organización de sus componentes.

Axiológicas:

- Analiza la importancia del contexto histórico de la dilucidación de la estructura del ADN reconociendo que el trabajo científico es un producto de la actividad humana individual y colectiva.
- Desarrolla y potencia la capacidad del trabajo en equipo en el ejercicio de modelización de la estructura del ADN.
- Reflexiona de forma analítica y crítica el impacto social, cultural y científico de los aportes del estudio de la estructura del ADN y su manipulación en situaciones como la clonación, la guerra biológica, la transgénesis y la eugenesia.

Momento 4: Aproximación Socio-Histórica

Para este propósito se presentarán a los estudiantes la reconstrucción histórica y tres

videos relacionados con la historia, estructura y proyecciones del estudio del ADN. *Ver archivos adjuntos.*

- El Descubrimiento del ADN: <https://www.youtube.com/watch?v=N8ZKylvroME>
- ADN- Historia: <https://www.youtube.com/watch?v=b4pQJ4rMQjA>
- La Historia del ADN: <https://www.youtube.com/watch?v=P2jsqZ56nP4>

Una vez realizada una lectura crítica y la visualización de los videos, se les plantean a los estudiantes una serie de preguntas para identificar los procesos de apropiación e impacto que tuvo el material:

Estas preguntas son:

- Indique en qué periodo histórico se desarrollaron las investigaciones para la deducción de la estructura del ADN.
- Mencione a qué científicos se les atribuye la deducción de la estructura del ADN.
- ¿Qué otros científicos colaboraron o contribuyeron en la dilucidación de la estructura del ADN?
- ¿Qué implicaciones a nivel científico, social y cultural trajo la deducción de la estructura del ADN en su momento?
- ¿Cuáles son las perspectivas generadas a futuro cercano conociendo la estructura del ADN?

Este tipo de preguntas hacen que los estudiantes reflexionen sobre el momento histórico, sobre las relaciones que se generan entre la actividad científica y sobre el entorno social y político en el que se desarrolla, logrando establecer que la actividad científica esta permeada por el contexto.

Momento 5: Actividades propuestas para el desarrollo de competencias:

La actividad de sensibilización busca desarrollar en los estudiantes la capacidad de análisis

y reflexión sobre las implicaciones actuales del conocimiento del ADN.

La lectura, la proyección de los videos y sus respectivos análisis, tienen la intención de ubicar históricamente a los estudiantes en algunos de los momentos más importantes de la dilucidación y estudio del ADN, para que reconozcan que el trabajo científico es un producto de la actividad humana individual y colectiva.

La modelización de la estructura del ADN busca diseñar y elaborar una representación física con el objeto de mejorar la comprensión de la organización estructural del ADN.

La carta de Randall a Franklin tiene como objeto generar una discusión sobre algunos aspectos éticos, morales y pedagógicos para reflexionar sobre el carácter social, cultural y humano de la ciencia en cualquier contexto y época. Carta de Randall (1905 – 1984) a Franklin (1920-1958) pidiéndole abandonar su cargo en el King's College.

Recuperado de: <http://www.madrimasd.org/blogs/microbiologia/2008/08/11/98520>

Momento 6: Estrategias de evidencia de los aprendizajes

- Desarrollo de la actividad rompe hielo, donde se evidencie la capacidad de análisis y de reflexión de los estudiantes acerca de las implicaciones actuales del conocimiento del ADN.
- Reflexión crítica de las preguntas planteadas para el análisis de la reconstrucción histórica y de los videos, con el objeto de que reconozcan que el trabajo científico es un producto de la actividad humana individual y colectiva.
- Diseño y elaboración de una representación tridimensional de la estructura del ADN con el orden y la secuencia adecuada con res-

pecto al modelo actual, para evidenciar el reconocimiento de la estructura del ADN.

- Conformación de equipos de trabajo para el diseño y elaboración de la estructura del ADN evidenciando el trabajo cooperativo para el análisis y la discusión de aspectos éticos, morales y pedagógicos para reflexionar sobre el carácter social, cultural y humano de la ciencia en cualquier contexto y época.

Momento 7: Definición de los criterios de evaluación:

Los criterios de evaluación se plantean en función de las competencias diseñadas y de acuerdo a los avances que los estudiantes van evidenciando con el desarrollo del trabajo presentado.

Consideraciones Finales

En Colombia urge una renovación en los procesos de enseñanza y del aprendizaje de las ciencias. Continuar una enseñanza centrada en contenidos, no ha producido los efectos esperados, por tal razón se propone generar experiencias educativas que permitan reflexionar sobre cómo fue y cómo es construido el conocimiento científico, quiénes son sus protagonistas, en qué condiciones sociales, culturales, políticas y económicas se dan este tipo de desarrollos, y qué tipo de dificultades se tuvieron que superar, entre otras cuestiones. Esto permitiría configurar una imagen de ciencia diferente y próxima a las realidades de los estudiantes; ya que al vincular los contenidos objetos de enseñanza, con un modelo de competencias pertinente y consiente tanto en docentes como en los estudiantes, se le otorga un nuevo valor y sentido a la ciencia, a su actividad y a sus protagonistas (Aristizábal, et. al., 2014). Promoviendo nuevos desarrollos cognitivos, actuaciones y motivacionales; elementos fundamentales en las presentes y nuevas generaciones de jóvenes.

Referencias Bibliográficas

- Arias, G. (Diciembre de 2004). En 1953 fue descubierta la estructura del ADN. Etapas de una gran avance científico. *Documentos online*, 3-38.
- Aristizabal, A., Martínez, H, Capera, M. (2014). Los museos como un espacio de reflexión en la enseñanza de la historia de las ciencias en Colombia. Ponencia. II IHPST International Conferencie Philosophy Science Teaching. Mendoza- Argentina
- Bretscher, M. y. (2004). Obituary. Francis Crick 1916 - 2004. *Current Biology*, XIV(16), 642-645.
- Candela, M. (2012-2013). Mujeres en Bioquímica. *Encuentros en la Biología*, V(141), 70.
- Crespo, C. M., Dejean, C., Postillone, M., Lanata, J., & Carnese, F. (2010). Historias en código genético. Los aportes de los estudios de adn antiguo en antropología y sus implicancias éticas. *Runa*, XXXI(2), 153-174.
- Crow, E. W. (1 de Enero de 2002). 100 Years Ago: Walter Sutton and the Chromosome Theory of Heredity. (C. J. F., Ed.) *Genetics*, CLX(1), 1-4.
- Darwin, C. R. (2009). *El Origen de las Especies por medio de la Selección Natural*. México, México D.F., México: Libros de la Catarata.
- Flemming, W. (Enero de 2001). Pionero de la Investigación de la Mitosis. (N. Paweletz, Ed.) *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, II, 72-75.
- Friedberg, E. C. (3 de Diciembre de 2004). Obituary. Maurice Wilkins (1916 - 2004). *Molecular Cell*, XVI, 671-672.
- Gellately, R. (Abril de 2010). Robert Gellately, Lenin, Stalin and Hitler: The Age of Social Catastrophe, Jonathan Cape. *European History Quarterly*, XL(2), 331-332.
- González Fairén, A. (2003). El idioma de la vida. 50 años del descubrimiento de la estructura del ADN. *Deslinde*, 1-10.
- Gratzer, W. (2003). Breaking the silence. *Current Biology*, XIII(24), 1-2.
- Gregor, M. (1866). Experiments on plants Hybridization. *Verhandlungen des naturforschenden Vereines in Brünn*, IV, 3-47.
- Guevara Pardo, G. (2004). ADN: HISTORIA DE UN ÉXITO CIENTÍFICO. *Revista Colombiana de la Historia de la Ciencia*, III(10-11), 9-40.
- Kamen, H. (24 de Diciembre de 2003). El ADN y los misterios de la Historia. *El Mundo*(5131), págs. 1-3.
- Klug, A. (24 de Agosto de 1968). Rosalind Franklin and the Discovery of the structure of DNA. *Nature*, 219, 808-844.
- Kurchatov. (2010). *50megatonn.ru armas nucleares y la energía nuclear*. Recuperado el 16 de Octubre de 2014, de 50megatonn.ru armas nucleares y la energía nuclear: 50megatonn.ru/strany/ussr/russia/sozdanye-prvykh-obraztsov-termojadernogo-oruzhija/pervaja-informatsija/
- Martín García, M. A. (7 de Agosto de 2007). *Senderos de la Historia*. Recuperado el 16 de Octubre de 2014, de Sende-

ros de la Historia: senderosdelahistoria.wordpress.com/2007/08/07/la-guerra-de-corea-1950-1953/

Ortíz de Zarate, R. (10 de Junio de 2014). *CIDOB*. Recuperado el 16 de Octubre de 2014, de CIDOB: www.cidob.org/es/documentacion/biografias_liderespoliticos_europa_reino_unidoisabel_ii_de_ingles

Ortíz Hidalgo, C. (Julio-Septiembre de 2003). "Encontramos el secreto de la vida". 50 años del descubrimiento de la estructura del ADN. *ANALES MEDICOS*, XLVIII(3), 177-188.

Osman Elkin, L. (Marzo de 2003). Rosalind Franklin and the Double Helix. *Physics Today*, 42-48.

Piro, O. E. (2012). Breve historia del ADN, su estructura y función. (D. d. Física, Ed.) *Ciencia e Investigación*, LXIV(3), 39-40.

Unidos, R. A. (Enero de 2013). *Revista Americana Boletín Informativo de la Embajada de los Estados Unidos*. Recuperado el 17 de Octubre de 2014, de Revista Americana Boletín Informativo de la Embajada de los Estados Unidos: photos.state.gov/libraries/panama/11567/2013/atp2013.pdf

Vicente, M. (10 de Agosoto de 2008). *Miod Un lugar para la ciencia y la tecnología*. Recuperado el 7 de Octubre de 2014, de Miod Un lugar para la ciencia y la tecnología: <http://www.madrimasd.org/blogs/microbiologia/2008/08/10/98464>

Watson, J. y. (25 de Abril de 1953). A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid. *Nature magazine*, CLXXI(3), 737-738.







Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias







Experimento de un pajar en la bomba de vacío de Joseph Wright (1768).

Autores de la Historia y Filosofía de la Ciencia en la Enseñanza de las Ciencias en América Latina ¿Cuál es su perfil?

Authors of History and Philosophy of Science in Teaching of Science in Latin American. What is your profile?

Mayer Lucía Sánchez Benítez

CEFET/RJ, Colombia
mayerlucia@hotmail.com

Marco Braga

CEFET/RJ, Brasil
marcobraga.academic@gmail.com

Resumen

Inmerso dentro de una investigación más amplia y enmarcada dentro de un enfoque cuantitativo, este trabajo pretende aproximarse al perfil de los profesores latinoamericanos, que usan la Historia y Filosofía en la Enseñanza de las Ciencias. A partir de la implementación de un cuestionario como instrumento de indagación y haciendo uso de la aplicación Google Drive. Con el objetivo de explorar algunas cuestiones que podrían contribuir a la comprensión del desarrollo de la Historia y la Filosofía de la Ciencia en la enseñanza en el contexto de América Latina. Conocer el estado actual de sus actores y analizar la viabilidad de fortalecer y/o establecer un vínculo social entre los investigadores que actualmente se encuentran trabajando en este campo.

Las treinta respuestas obtenidas, hicieron posible conocer quiénes son algunas de las personas que hacen parte de esa comunidad. Contribuir a la comprensión de ciertos rasgos que posiblemente hacen parte de la realidad de los docentes que se desempeñan en esta área. Y llegando a percibir una caracterizada madurez profesional, cuyas actividades generalmente se desenvuelven entre la investigación y la docencia en instituciones de educación superior, siendo partícipes de grupos de investigación, con un interés permanente en participar de eventos donde la Historia y Filosofía de la Ciencia, la Didáctica y la Formación de Profesores sean abordadas.

Los resultados permitieron observar una producción de archivos, libros y secuencias didácticas, dirigidas a alumnos universitarios y profesores principalmente. Siendo poco comunes dentro de estos hallazgos, la producción de material dirigido a alumnos de escuela y material que involucre la manipulación de las TIC's. El instrumento permitió el levantamiento de algunas preocupaciones y cuestionamientos interesantes para futuras investigaciones, referentes al escenario que relaciona el ambiente escolar y los profesores investigadores que se desempeñan en la Historia y Filosofía de la Ciencia en la Enseñanza de las Ciencias. Surgiendo una inquietud especial por explorar ese ambiente más a fondo y los motivos por los cuales posiblemente existe una desvinculación aparente entre los dos escenarios y el por qué no se hizo notable, dentro del mapeamiento de las personas que se desenvuelven en esta área, la participación de investigadores más jóvenes y de profesores de escuela.

A su vez fue posible percibir la demanda de los profesionales por el establecimiento de un canal que les permitiera ser partícipes del flujo de información constante dentro de su área de interés, donde se ampliaran sus conexiones con otros profesionales y permitiera el intercambio de ideas, preocupaciones, aciertos y fracasos. Dejando abierta la invitación a futuras investigaciones, el pensar en propuestas que potencialicen el trabajo colectivo, faciliten la formación de nuevas conexiones sociales y el flujo del conocimiento entre los profesores. En busca del fortalecimiento del perfil latinoamericano dentro del área de Historia y Filosofía de la Ciencia en la Enseñanza.

Abstract

Immersed within a broader investigation and framed within a quantitative approach, this paper aims to approach profile of Latin American teachers, using the History and Philosophy in Science Teaching as an instrument of inquiry and making use of Google Drive application. In order to explore some issues that could contribute to understanding the development of the History and Philosophy of Science in education in the context of Latin America. The status of its actors and analyze the feasibility of strengthening and / or establish a social link between researchers who are currently working in this field.

The thirty responses made it possible to know who some of the people who are part of that community. Contribute to the understanding of certain features that may form part of the reality of the teachers working in this area. In addition, coming to perceive a professional maturity characterized whose activities generally operate between research and teaching in higher education institutions, being partakers of research groups, with a lifelong interest in participating in events where the History and Philosophy of Science, Teaching and Teacher Education addressed.

The results showed a production of records, books and sequences, targeting mainly university students and teachers. Still rare within these findings, the production of material aimed at schoolchildren and material involving the manipulation of ICTs. The instrument allowed the lifting of some concerns and interesting questions for future research concerning the scenario that relates the school environment teachers and researchers who work in the History and Philosophy of Science in Science Teaching. Emerging particular concern to explore this environment further and the reasons for which there is possibly an apparent disconnect between the two scenarios and why not became noticeable within the mapping of people that develop in this area, participation more young researchers and school teachers.

Furthermore, it was possible to perceive the demand for professionals by establishing a channel that would allow them to partake of the constant flow of information within their area of interest, where its connections with other professionals to expand and allowing the exchange of ideas, concerns, successes and failures. Leaving open the invitation to future research, the thought of proposals potentializing collective work, facilitate the formation of new social connections and flow of knowledge among teachers. In search of the strengthening of Latin American, profile in the area of History and Philosophy of Science in Teaching.



Palabras Clave

Historia y Filosofía de la Ciencia (HFC), Enseñanza de las Ciencias (EC), América Latina (AL).

Key Words

History and Philosophy of Science (HPS), Science Education (SE), Latin America (LA).

Introducción

Este trabajo tiene sus orígenes en el interés por la Historia y Filosofía de las Ciencias orientadas hacia la Enseñanza, el cual nos llevó a preguntarnos por su dinámica social de desenvolvimiento dentro de nuestro propio contexto, el contexto latinoamericano. Querer aproximarnos a cómo esa iniciativa de educación científica planteada por otros países fue transmitida, reelaborada e incorporada en los países de América Latina como un diálogo intercultural y comprender su identidad latinoamericana frente a esa dinámica. Puesto que la alusión a su desenvolvimiento y estructuración es reducida dentro de la literatura referente en el área de investigación.

Por eso nuestro interés desde esta perspectiva, de aproximarnos al panorama de la Historia y Filosofía de la Ciencia en la Enseñanza de las Ciencias dentro del contexto latinoamericano; identificar sus orígenes, interpretar sus características propias de desenvolvimiento, conocer su perfil dentro del campo y analizar sus perspectivas posteriores. Con la intención de comprender un poco más a profundidad la HFC-EC como campo de acción dentro de América Latina.

Sin embargo, conscientes de los amplios horizontes que dibujan nuestras anteriores inquietudes. Este trabajo hace parte de una investigación más amplia, considerada como una primera reflexión sobre nuestros objetivos y se enfoca principalmente en conocer quiénes son algunas de las personas que hacen parte de esa comunidad y contribuye a la comprensión de ciertos rasgos que posiblemente hacen parte de la realidad de los docentes que se desempeñan en esta área.

Pues consideramos que conocer esa dinámica social que gira en torno a la HFC-EC en la educación científica latinoamericana, es de importancia relevante para los docentes de ciencias que actúan dentro de ese campo y podría poner a disposición algunos aspectos

poco explorados hasta el momento, para los docentes en ciencias. Que defienden al igual que Abd- El-Khalick (2009) y (MATTHEWS, 1994) citados por (KROGH & NIELSEN, 2013), la inclusión de la HFC en el ambiente escolar, como una visión más contextualizada que permite una enseñanza **sobre** la ciencia así como **con** la ciencia y **en** la ciencia. A la vez, que contribuiría con el desarrollo de estructuras de colaboración y apoyo entre los grupos de profesores. Considerado por (HÖTTECKE & SILVA, 2011), como uno de los aspectos necesarios para dar soporte al enfoque de la HFC-EC en busca de una implementación más eficaz y efectiva en el ambiente escolar.

Así conforme con la naturaleza de este estudio, su objetivo y la curiosidad de los investigadores el presente trabajo está enmarcado dentro de un enfoque cuantitativo, donde vemos en la implementación del cuestionario elaborado, una posibilidad potencial para aproximarnos a los profesores-investigadores latinoamericanos y de conocer su dinámica organizacional dentro de su desenvolvimiento profesional.

Teniendo siempre presente que la investigación no pretende representar a todos los investigadores de América Latina, pero que se espera tener una aproximación significativa, que permita comprender su dinámica social en el campo de la HFC-EC dentro de ese contexto y las incidencias o el impacto que puedan tener las contribuciones de los investigadores.

Después de este paraje introductorio, el lector encontrará a continuación en concordancia con la base metodológica determinadas por la naturaleza del estudio, la descripción del desarrollo de la aplicación del instrumento de indagación, su sistematización y el análisis de la información y por último la exposición de las consideraciones finales sobre los resultados y algunas de sus implicaciones y perspectivas futuras.

Desarrollo

En concordancia con lo anterior, durante esta sección serán expuestos los resultados obtenidos a través de la aplicación del cuestionario como instrumento de indagación. Pretendiendo que las argumentaciones provenientes de la recolección y análisis de los datos aquí realizadas, proporcionen a la investigación el mejor conjunto de apreciaciones para entender los resultados encontrados.

Observando las necesidades de la investigación desde sus comienzos la recolección de datos se llevó a cabo a través un mapeamiento inicial que consistió en un rastreo superficial del contexto de la HFC-EC-AL, a través de la búsqueda en revistas, periódicos, anales de congresos, páginas web, entre otros medios que permitieran visualizar un poco la ubicación de las personas que se desempeñan en la EC a través de la HFC. Esa indagación inicial tenía como objetivo principal detectar profesores-investigadores actuando en el área, así como encontrar algún medio de contacto que nos acercase a los profesores directamente con el fin de aplicar cuestionario que permitiría dibujar un poco el perfil de los profesionales que actúan en la HCE-EC en América Latina.

El cuestionario se construyó como una actividad de indagación utilizando la herramienta Google Drive, la cual se aplicó a los investigadores, con el objetivo de explorar algunas cuestiones que podrían contribuir a la comprensión del desarrollo de la HFC en la enseñanza en el contexto de América Latina. Conocer el estado actual de sus actores y analizar la viabilidad de fortalecer y/o establecer un vínculo social entre los investigadores que actualmente se encuentran trabajando en este campo.

El cuestionario fue direccionado a 56 de los 66 profesores-investigadores detectados por el primer rastreo. De los cuales fueron recibidas 30 respuestas efectivas (53,57%), dentro del periodo de tiempo de enero-abril del año 2014. Los diseños fueron realizados en dos idiomas diferentes: español y portugués para facilitar la comprensión de las preguntas por parte de los participantes. Comenzando con la descripción de un breve perfil que el profesor debía responder en el encabezado, antes de iniciar con las respuestas a las 11 preguntas, con el objetivo de conocer un poco más de sus rasgos como profesional en el área; indicado algunos aspectos como país, edad, género y nivel de formación.

El análisis es llevado a cabo en gran parte a través de gráficos estadísticos, con el fin de facilitar la visualización de la información y lograr una mejor aprehensión de las respuestas; al mismo tiempo que estarán acompañados de las interpretaciones y apreciaciones correspondientes, de manera individual o colectiva según sea necesario. Por último, se realizará un comentario final donde se aborde de manera global los hallazgos obtenidos en la aplicación de este instrumento.



Distribución de profesores por país

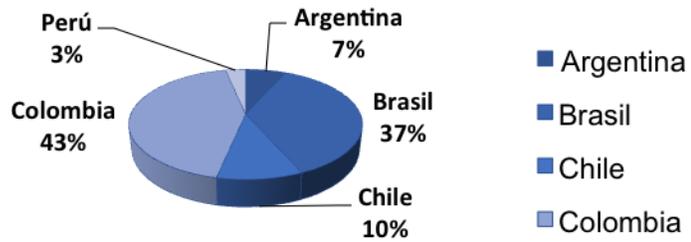


Gráfico 1 Distribución de profesores por país

Las primeras tres figuras (Gráficos 1, 2 y 3) se refieren al perfil de los 30 profesores encuestados y serán analizadas de manera conjunta para dar una mejor descripción al lector, de los rasgos de la muestra.

Distribución de profesores por género

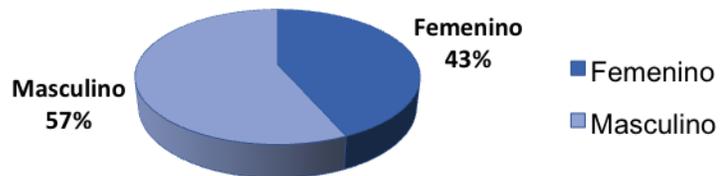


Gráfico 2 Distribución de profesores por género

Un análisis de los tres gráficos anteriores junto con los datos sobre la edad de los profesores, indica que:

- Para comenzar, se tienen en su mayoría actores colombianos y brasileros en el área, correspondiente a un 43% y 37% respectivamente de las personas encuestadas.
- Así como, una cantidad no muy distanciada una de la otra en cuestión de género, siendo un poco mayor la cantidad de profesores hombres dentro de la muestra con un 57%.
- De acuerdo al nivel de formación, se observa un porcentaje destacable de doctores con un 70% de los profesionales.

Distribución de Profesores por Nivel de Formación

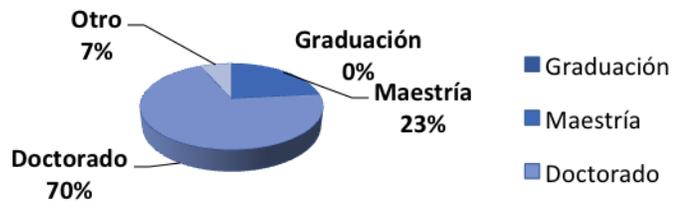


Gráfico 3 Distribución de profesores por nivel de formación

- En cuanto a la edad de los participantes, se obtuvieron respuestas dentro de un rango de edad entre los 34 y los 68 años; de las cuales el 50% de los participantes está por encima de los 47 años y se halló una edad promedio de 49 años que representa a los investigadores; por lo que podría decirse que la muestra se encuentra dentro de la segunda mitad de la edad adulta.

Ahora, a continuación las respuestas a las 11 preguntas formuladas en el cuestionario. El lector se encontrará primero con la formulación de la pregunta, seguido sí es preciso por el gráfico estadístico correspondiente y por último la interpretación de la investigación a los resultados encontrados en las respuestas de los profesores.

1. Usted actualmente se desenvuelve como:

- Docente
- Historiador
- Filósofo
- Investigador en Educación
- Otro: _____

Dentro de las respuestas obtenidas de los profesores concernientes a su área de desenvolvimiento. Se tienen trece (13) profesores que se desempeñan como Investigadores en Educación, diez (10) como Docentes, cuatro (4) dividen sus actividades profesionales entre la Docencia y la Investigación y sólo una (1) persona se desenvuelve a la vez como Docente, Investigador en Educación e Historiador de la Ciencia. Por fuera, se encuentra la categoría Otros, donde fueron ubicados un Coordinador Académico y un Estudiante de Doctorado y ninguno mencionó desempeñarse como Filósofo de la Ciencia.

2. Usted trabaja actualmente en una institución de:

- Enseñanza fundamental
- Media
- Universitaria

En cuanto a la vinculación de los profesores, si se mira el Gráfico 4, se puede decir, sin lugar a dudas que su desempeño se desenvuelve dentro de las instituciones de educación superior. Cifra eminentemente grande, en comparación al porcentaje que corresponde a los docentes que realizan su trabajo en instituciones de enseñanza media, secundaria o bachillerato o que trabajan en la enseñanza básica o fundamental.

3. Pertenece a algún grupo de investigación:

- Sí
- No

Si su respuesta ha sido "Si", podría decirnos el nombre del grupo de investigación al cual pertenece:

Distribución de profesores por tipo de institución

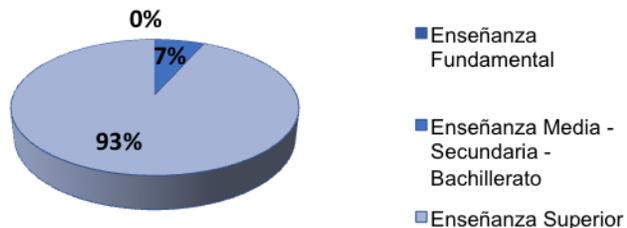


Gráfico 4 Distribución de profesores por tipo de institución

Distribución de profesores por pertenencia a algún grupo de investigación

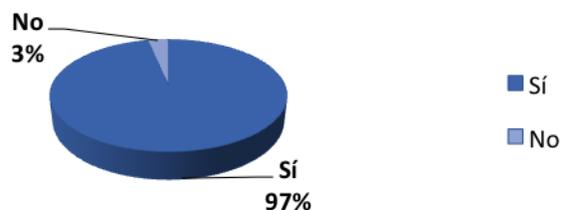


Gráfico 5 Distribución de profesores por pertenencia a algún grupo de investigación



En la respuesta a la pregunta número tres (Gráfico 5) se observa casi que una unanimidad en la contestación, el 97% de los 30 profesores encuestados al parecer desenvuelven sus actividades de investigación dentro de una colectividad. A la vez que esta pregunta, les pide especificar el nombre de esos grupos, lo que permitió encontrar un total de 26 agrupaciones de investigación, de los cuáles 8 coincidieron con los grupos ya rastreados en el Mapa Inicial del primer instrumento y por lo tanto, fueron detectados 18 nuevas comunidades donde el tema de la HFC-EC es indagado.

4. Cuál es su línea de investigación y con qué tipo de proyectos usted trabaja?

Dada la caracterización abierta de ésta pregunta, se obtuvieron respuestas dentro de una gran diversidad de expresiones, en su gran mayoría haciendo alusión a la HFC-EC. Afirmación un poco obvia, dado el tema de esta disertación; sin embargo, a través de esta pregunta y de sus explicaciones particulares se pudo observar un fuerte interés por el aspecto didáctico y de formación docente dentro de la línea.

5. Algunas veces los docentes y/o investigadores producen material didáctico para uso de sus alumnos (media académica, pre-grado, pos-grado, etc); usted acostumbra o ya ha producido este tipo de material?

Sí

No

Si su respuesta ha sido "Sí", podría decirnos brevemente en qué consisten sus materiales

6. A través de qué medios usted produce esos materiales:

Libros Ebook Página web Videos Blog

Artículos Módulos Simulaciones Manuscritos

Guías didácticas Material didáctico tangible

Redes Sociales Otros: _____

7. Esos productos intelectuales a qué tipo de lector están dirigidos:

Alumnos de la educación básica Alumnos de posgrado

Investigadores Alumnos universitarios Profesores

Otros: _____

Las respuestas a las preguntas cinco, seis y siete (Gráficos 6,7 y 8), permiten observar una tendencia de los profesores a producir diversos materiales para sus aulas y/o como resultado de sus trabajos de investigación; destacándose entre ellos la elaboración de artículos, libros y secuencias didácticas. Dirigidos, en porcentajes similares, a alumnos universitarios, profesores, estudiantes de posgrado e investigadores.

Distribución de profesores de acuerdo a la producción de material didáctico

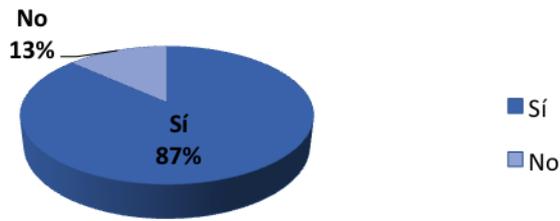


Gráfico 6 Distribución de profesores de acuerdo a la producción de material didáctico

Medios utilizados por los profesores en la producción de material didáctico

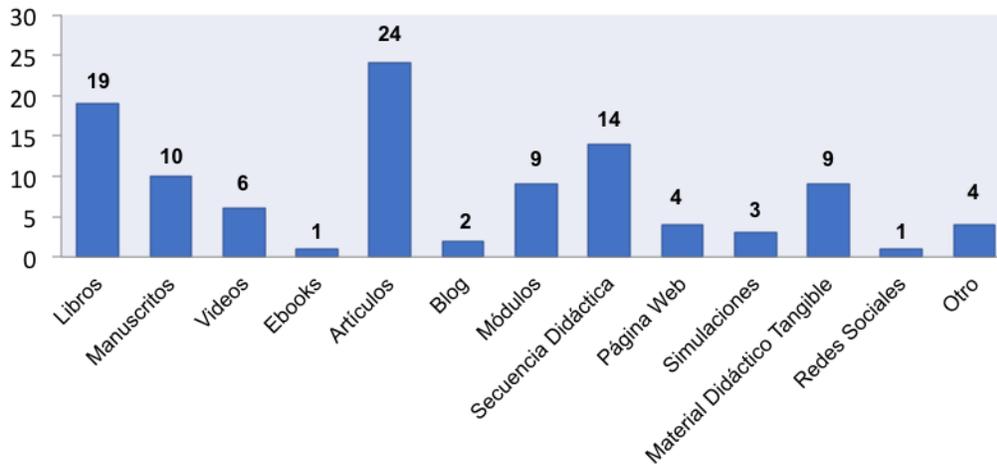


Gráfico 7 Medios utilizados por los profesores en la producción de material didáctico

Distribución del material didáctico según tipo de lector al que se dirigen.

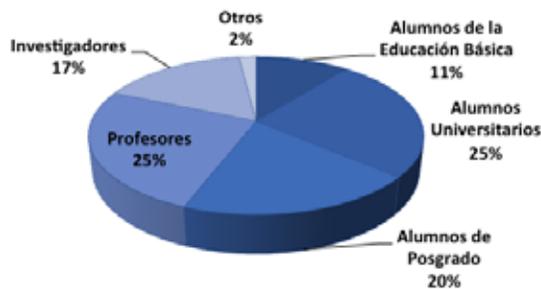


Gráfico 8 - Distribución del material didáctico según tipo de lector al que se dirige



Y en un porcentaje menor, la producción de material para alumnos de escuela; lo que es coherente si se miran en las respuestas anteriores la tendencia a desempeñarse dentro del ambiente de la educación superior.

Un asunto para resaltar dentro de las respuestas, fue la dedicación de dos de los profesores, a la traducción de fuentes primarias para ser utilizadas dentro de la HFC-EC; aspecto que resulta bien interesante e importante dentro de la labor de un docente que trabaja la línea de HFC y se interesa por su divulgación.

Por otro lado, un aspecto que llama también la atención si se centra la mirada en la respuesta a la pregunta seis, es el pequeño número de productos que se relacionan con el manejo de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación. A través del Gráfico 7, se muestra que los medios menos mencionados por los docentes para producir sus materiales fueron videos, páginas web, simuladores, blogs, Ebooks y redes sociales. Lo que puede llevar a pensar, en la posibilidad de una poca familiarización con los medios y herramientas que la sociedad digital actual puede brindar para el beneficio de la HFC-EC y su aplicación eficaz dentro de los ambientes educativos.

8. Es usted participante de alguna acción en red, que envuelva varios grupos de investigación?

Sí

No

¿Cual?: _____

Ya en la pregunta número tres (Gráfico 9) se había encontrado un 97% de los profesores que desenvolvían sus actividades de investigación dentro de una colectividad. Ahora, esta pregunta está dirigida a saber si esos grupos a los cuales ellos pertenecen, interactúan con otros grupos y realizan acciones de dialogo, discusión e intercambio de ideas sobre sus indagaciones. El 60% de la muestra hace parte de comunidades con esas características que permiten esa interacción entre colectividades, fueron detectadas seis sociedades diferentes donde los profesores pueden realizar ese intercambio de comunicación profesional. Sin embargo, aunque más de la mitad dio una respuesta positiva podría ser un indicio de requerir el fortalecimiento de ese diálogo entre los grupos de investigación dedicados a la HFC-EC-LA para disminuir ese 40% de grupos que trabajan en solitario.

Distribución de profesores por participación en acciones investigativas en red

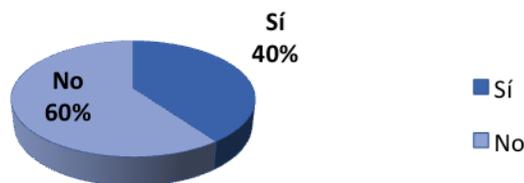


Gráfico 9 Distribución de profesores por participación en acciones investigativas en red

Ya en la pregunta número tres (Gráfico 9) se había encontrado un 97% de los profesores que desenvolvían sus actividades de investigación dentro de una colectividad. Ahora, esta pregunta está dirigida a saber si esos grupos a los cuales ellos pertenecen, interactúan con otros grupos y realizan acciones de dialogo, discusión e intercambio de ideas sobre sus indagaciones. El 60% de la muestra hace parte de comunidades con esas características que permiten esa interacción entre colectividades, fueron detectadas seis sociedades diferentes donde los profesores pueden realizar ese intercambio de comunicación profesional. Sin embargo, aunque más de la mitad dio una respuesta positiva podría ser un indicio de requerir el fortalecimiento de ese diálogo entre los grupos de investigación dedicados a la HFC-EC-LA para disminuir ese 40% de grupos que trabajan en solitario.

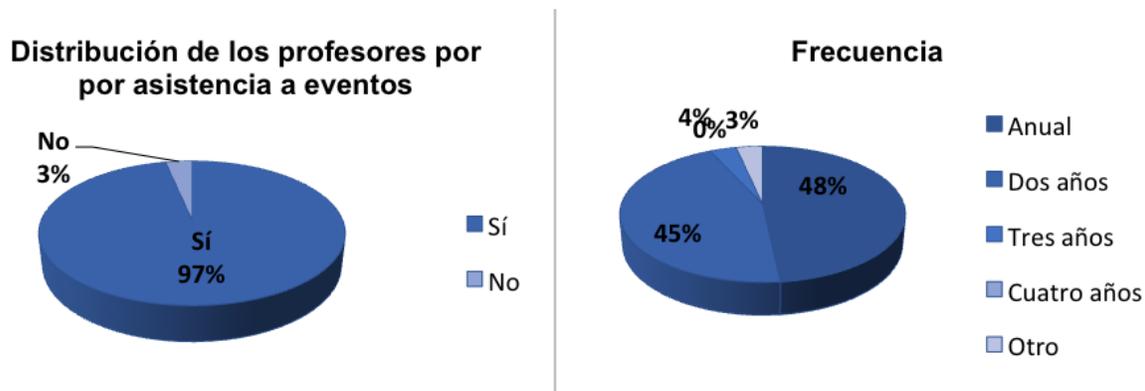


Gráfico 10 Distribución de los profesores por asistencia a eventos

9. Asiste usted a eventos nacionales y/o internacionales en donde el uso de la Historia y Filosofía de la Ciencia en la enseñanza pueda ser discutida?

- Sí No

Si su respuesta ha sido "Sí", podría decirnos con qué frecuencia asiste y el nombre de esos eventos:

- Anualmente Cada dos años
 Cada tres años Cada cuatro años
 Otro: _____

El gráfico 10 muestra la tendencia de los profesores en asistir a eventos tanto nacionales como internacionales, con una periodicidad anual y bienal preferencialmente. Entre sus respuestas, sobresale la asistencia al IHPST como evento internacional y al EPEF, el ENPEC y el SNEF como eventos nacionales, en este caso brasileños. Sin generalizar, entonces, podría concluirse que los 30 profesores de la muestra tienen una asistencia regular a eventos relacionados a la enseñanza de las ciencias y específicamente los que tienen a la HFC como uno de sus temas a ser abordados. A la vez, que puede deducirse que debido a esa participación ellos, posiblemente, están en continua actualización de las tendencias, retos e innovaciones que rodean los avances de la HFC-EC, en particular resaltando esa característica que parece ser común dentro del contexto brasileño.

10. Participaría usted de una red virtual de investigadores sobre Historia y Filosofía de la Ciencia en la Enseñanza?

- Sí No

¿Por qué?: _____

Al observar las respuestas a la pregunta diez en el Gráfico 11, se percibe un gran interés por parte de los profesores por participar en una



red virtual de investigación sobre HFC-EC-LA. Dentro de las explicaciones a su disposición, se encuentra el deseo de intercambiar ideas entre sus pares, ampliar sus vínculos profesionales y levantar discusiones en torno a la línea; a la vez, que la manifestación de la necesidad de fortalecer el campo de investigación y el flujo del conocimiento; así como el reconocimiento de la importancia de la creación de una red con esas características, dado que hasta el momento ellos argumentan desconocer la existencia de una, dentro o fuera de sus países, y/o si existiese en la actualidad, ellos afirman no haber sido invitados aún a hacer parte de ella.

11. Usted conoce a alguien más, dentro del contexto de América Latina, que trabaje con Historia y Filosofía de la Ciencia en la Enseñanza?

Sí

No

¿Quien?: _____

(Por favor responder con el nombre de la persona y correo electrónico si es posible)

Por último, en la pregunta número once (Gráfico 12), formulada con el fin de solicitar la ayuda para detectar otras personas que tengan a

la HFC-EC como campo de acción. Todos los profesores afirmaron conocer otros pares que actúan en el área; fueron referenciados 16 profesionales por los 30 profesores encuestados, de los cuales trece ya hacían parte del listado obtenido anteriormente por el mapeo inicial, por lo que fueron adicionados sólo tres nuevos a esa lista. Destacando la mención reiterada de los doctores Agustín Aduriz Bravo de Argentina, Mario Quintanilla de Chile, Marco Braga de Brasil y José Antonio Chamizo de México, como los profesores más conocidos entre los pares.

Ahora, desde una visión global de las respuestas al cuestionario. Los 30 profesionales indagados, permitieron observar algunas cuestiones que podrían contribuir a la comprensión del estado actual del área de la HFC en la enseñanza, dentro del contexto de América Latina. Desde el punto

Distribución de los profesores por disposición de participar en una red virtual de investigación



Gráfico 11 Distribución de los profesores por disposición de participar en una red virtual de investigación

Distribución de profesores por conocimiento de otros profesores dentro del área HFC-EC-AL

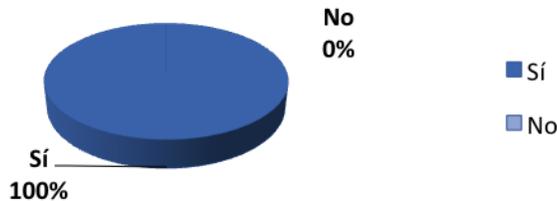


Gráfico 12 Distribución de profesores por conocimiento de otros profesores dentro del área HFC-EC-AL

de vista de los hallazgos sobre el perfil de los investigadores que actualmente se encuentran trabajando en este campo, esta disertación consciente de sus objetivos y también de sus limitaciones, no pretende realizar una generalización para la descripción de los profesores que se desempeñan en el área dentro del subcontinente. Pero si, quiere aproximarse a algunas de las características que a través de las respuestas puedan dibujarse y mostrar algunos rasgos que posiblemente hacen parte de la realidad de los docentes que se desempeñan en esta área, con el fin de contribuir a ese interés por profundizar en la estructura social de lo que es la HFC-EC-LA.

En virtud de lo anterior y desde un análisis en conjunto de las respuestas al cuestionario; puede decirse de acuerdo con la muestra de los 30 profesores indagados, que es una población colombo-brasilera principalmente, lo que puede justificarse no sólo por el contexto desde donde está inscrita esta disertación, sino que podría ser también interpretado como un indicio sobre una mayor actividad del área de HFC-EC dentro de esos países. Caracterizada por profesores con una madurez profesional distinguida, la mayoría de ellos hombres y mujeres ya doctores formados, dentro de la segunda mitad de la edad adulta y cuyas actividades generalmente se desenvuelven entre la investigación y la docencia en instituciones de educación superior.

Integrantes de grupos de investigación e interesados permanentemente en asistir y participar de eventos donde sean expuestos trabajos relacionados con su área de desenvolvimiento, en especial si se trata particularmente de asuntos didácticos y formación de profesores. Los profesores manifiestan su reconocimiento a la importancia de la formación de colectividades que permitan intercambio de ideas, preocupaciones, aciertos, fracasos y flujo del conocimiento entre los pares y su disposición por hacer parte de

alguna red virtual que les permita el compartir permanente de las gestiones en el área de la HFC-EC.

Por ser profesores-investigadores, dentro de sus actividades comunes parece ser que se encuentra la producción de material, sea para aplicación en sus aulas o como resultado de sus proyectos de investigación. Estos materiales que normalmente se tratan de elaboración de archivos, libros o secuencias didácticas, son dirigidos para alumnos universitarios y profesores, alumnos de posgrado e investigadores principalmente. Haciéndose poco común dentro de esta regularidad, la producción de material dirigido a alumnos de escuela y material que involucre la manipulación de las TIC.

Los anteriores hallazgos, a pesar de tener resultados a ser resaltados en cuanto a la activa vida académica-investigativa de los profesores; levantan a su vez, algunas preocupaciones y cuestionamientos interesantes para futuras investigaciones, importantes a tener en cuenta desde los puntos de vista defendidos por esta disertación. Por un lado, es fundamental que un área de investigación cuente con integrantes con experiencia y madurez académica, esto le otorga cierto nivel, credibilidad, validez y reconocimiento; pero a la vez, se piensa que es de igual relevancia que cuente con integrantes jóvenes que contribuyan con sus nuevas perspectivas en el enriquecimiento de la línea, así como que esto haría posible una mayor garantía de vigencia y continuidad dentro del contexto educativo.

Por eso, unos de los cuestionamientos que emergen de este instrumento son, ¿dónde están los jóvenes investigadores de la HFC-EC-LA? ¿Existen?, ¿no existen? ¿Será que los profesores de generaciones posteriores tienen intereses y preocupaciones diferentes que no incluyen la HFC dentro de sus indagaciones? ¿Qué significa para una línea de investigación como la HFC-EC-LA, la posibilidad de

sólo tener simpatizantes en la segunda mitad de la edad adulta? ¿Estará esto vinculado con la poca producción de material relacionado con el manejo de las TIC?

Por otro lado, surge una preocupación por el ambiente escolar y su relación con los profesores investigadores. Las cifras más bajas en las respuestas al cuestionario estuvieron relacionadas con la educación de la escuela. Ninguno de los profesionales tiene algún desempeño actual en la enseñanza básica y muy pocos en el bachillerato, a la vez que la producción de material para alumnos de estas instituciones presenta uno de los porcentajes más bajos en relación a los demás. Lo que lleva a plantearse varios cuestionamientos: ¿Será posible que la HFC-EC-LA esté dirigida sólo a la enseñanza de las ciencias en la educación superior? ¿Tomando en cuenta que las secuencias didácticas, fueron uno de los materiales más citados en la producción de los profesores, será que éstas están dirigidas sólo a alumnos universitarios? ¿también están dirigidas a los profesores, que más tarde las aplicarán en la escuela? Si esto sucede así, ¿que tan conveniente es para la HFC-EC que profesores que están formando a los profesores o futuros profesores de escuela, se encuentre desvinculados casi que totalmente del ambiente escolar actual? ¿Podría considerarse éste uno de los motivos que contribuyen a los obstáculos en la aplicación eficaz de la HFC-EC? ¿Qué sucede con los profesionales con nivel de posgrado en su formación, que ya no se desenvuelven como profesores de escuela?

Reiterando que la disertación no pretende por ningún motivo generalizar ni extender las interpretaciones e impresiones de los hallazgos aquí encontrados para todos los profesionales que se desempeñan dentro del área de la HFC-EC-LA. Simplemente procura contribuir a ese interés por profundizar en su estructura social desde sus posibilidades. Por lo que siente la necesidad de mostrar al lector, ese tipo de planteamientos anteriores emergentes de los resultados analizados y cuya lectura puede despertar el interés en su profundización de otros investigadores para futuras contribuciones y enriquecimientos del área.

Los resultados de este instrumento, mostraron el largo camino para el frente en el horizonte de la HFC-EC en Latinoamérica. E impulsa a la investigación a continuar con la exploración de la realidad de algunos de los profesores que se desempeñan en el área aproximarse al panorama de la Historia y Filosofía de la Ciencia en la Enseñanza de las ciencias en América Latina y reconocer algunas de las características que podrían ser analizadas sobre su desenvolvimiento contemporáneo.

Dado que fue posible observar de manera evidente que la Historia y Filosofía de la Ciencia dentro del contexto latinoamericano tiene una actividad investigadora lo suficientemente relevante como para ser estudiada. Resaltando la existencia de una comunidad que la reconoce como un campo diferenciado y que está interesada por su implementación dentro de la educación científica.

Referencias bibliográficas

- Höttecke, D., & Silva, C. (March de 2011). Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science & Education*, 20, 293-316.
- Krogh, L. B., & Nielsen, K. (26 de Febrero de 2013). *Springer Science + Business Media Dordrecht*. Recuperado el Junio de 2013, de <http://link.springer.com/article/10.1007/s11191-013-9582-9>
- Matthews, M. (1994). *Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: La aproximación actual*. Enseñanza De Las Ciencias, 255-277.
- Navarro, V. (1983). *La Historia de las Ciencias y la Enseñanza*. Enseñanza de las Ciencias, 50-54.
- Prada, B. (2007). Introducción. En B. Prada, *Las Ciencias Naturales en Colombia, 1735-1967, Panorama General* (págs. 9-14). Bucaramanga: Sic.
- Rosa, K., & Penido, M. C. (s.f.). *A Inserção De História E Filosofia Da Ciência No Ensino De Ciências E A Formação De Professores De Física*.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. D. (2010). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A. De C.V.





Representações de futuros professores de física sobre o uso da história da ciência em aulas de física no ensino médio

Undergraduate physics teachers representations about the function of history of science in physics high school classes

Maria José P. M. de Almeida

Grupo de Estudo em Pesquisa em Ciência e Ensino - gepCE
FE - Universidade Estadual de Campinas
email: mjpm@unicamp.br

Cassiano Rezende Pagliarini

Doutorando no programa de Pós-Graduação Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática (PECIM)
Grupo de Estudo em Pesquisa em Ciência e Ensino - gepCE
FE - Universidade Estadual de Campinas
email: pagliarini@gmail.com

Resumo

Este estudo foi realizado a partir de informações coletadas numa disciplina pedagógica integrante do currículo do primeiro ano de um curso de formação inicial de professores de física. Buscamos compreender como as condições de produção estabelecidas nessa disciplina contribuíram para mudanças nas representações dos estudantes sobre o funcionamento da história da ciência em aulas de física no ensino médio. As informações analisadas foram as respostas escritas para uma questão formulada no primeiro dia de aula e trechos de um artigo entregue no final da disciplina. A questão pedia as posições dos estudantes sobre o uso da história da ciência em aulas de física no nível médio. Para o artigo foi solicitado que a partir de entrevistas a professores de física e estudantes de ensino médio identificassem um problema no ensino da física e procurassem explorar abordagens em vias de resolvê-lo. Para isso deveriam utilizar pelo menos três textos da bibliografia da disciplina, entre os quais alguns eram artigos referentes ao uso da história da ciência no ensino. Para as análises, buscamos apoio na vertente da análise de discurso iniciada na França por Michel Pêcheux, basicamente nas noções de linguagem, condições de produção e representação. Nesse apoio teórico a linguagem não é considerada transparente, o discurso é efeito de sentidos entre interlocutores, as condições de produção sócio históricas têm papel relevante no discurso e as representações integram as condições de produção nas situações da sua produção, marcando posições dos sujeitos. A partir dos dados construídos nas análises de respostas dos estudantes, notamos diferentes manifestações a respeito do funcionamento da história da ciência em aulas de física. Os exemplos que apresentamos evidenciam que as condições de produção estabelecidas para a disciplina contribuíram para a produção de sentidos sobre o uso da história da ciência no ensino da física, apontando o quanto pode ser positivo o trabalho com artigos sobre usos da história da ciência em disciplinas pedagógicas da Licenciatura em Física. Entretanto, nossas considerações apontam para o fato de que aquilo que pode ser desenvolvido numa única disciplina é apenas um passo inicial, principalmente se pretendemos não apenas conhecer aspectos de como os estudantes produzem significados ao lerem artigos da área de Educação em Ciências, mas também de algum modo ampliar suas possibilidades de reflexão sobre as próprias representações. Ou seja, as represen-

tações compreendidas a partir da análise das respostas à questão formulada no primeiro dia de aula e as que pudemos notar nos trechos do artigo entregue ao final da disciplina são bastante diferentes, mas quanto à possibilidade desses estudantes virem a trabalhar com história da ciência em aulas de física quando professores precisamos ter em conta tanto as condições de produção da disciplina quanto as condições de trabalho que esses estudantes encontrarão enquanto professores.

Abstract

This study was conducted from collected information in one of the curriculum course for undergraduate physics teachers. We aim at comprehend how productions conditions established in the course had contribute to change students representations about the function of history of science in physics High School classes. The analyses was made to the written answers to a question made in the first day of the course and to an article produced by the end of the course. The question asked the students positions about to use history of science in physics High School classes. To the article they should to interview physics High School teachers and High School students for to identify a problem in physics education and to suggest ways to solve it. For that work they should use at least three texts belonging to the course bibliography, were there were some articles referring to the utilization of science history in teaching. To do the analyses we supported on discourse analysis under discussion started in France by Michel Pêcheux, particularly in notions of language, production conditions and representation. On this support the language is not considered transparent, the discourse is effect of senses between interlocutors, the social historic production conditions play an important role over the discourse and the representations are part of the production conditions in production situations, pointing out anybody positions. From the data built, in the students answers analyses we noted different manifestations about the function of history of science in physics High School classes. The examples we presented show that the production conditions in the course contributed to the students senses production about the use of history of science in physics teaching, pointing to how much it may be positive in undergraduate courses the work with papers about the use of history of science. However, our considerations show also that what can be developed in one course is only an initial step, mainly if we want not only to know that students produce meanings when reading Science Education papers, but also in some way they expand their possibilities of reflection about their own representations. So, the representation comprehension conducted in the analysis of the answers to the question in the first day of the course and to excerpts of the article produced by the end of the course are quite different, but about the possibility of these students come to work history of science when they became teachers we need to take into account both the production conditions in the course as well as the work conditions they will face as teachers.



Palavras Chave

Formação de professores; história da ciência; representações; análise do discurso.

Key Words

Teacher education; history of science; representations; discourse analysis.

Introdução e Justificativa

Quando focalizamos o ensino da física no Brasil, paralelamente aos muitos estudos que apontam possibilidades de mudança, vemos que, na maioria das escolas de ensino médio, as aulas ainda são pautadas quase exclusivamente na solução de exercícios repetitivos.

Com a pretensão de que a maioria dos alunos adquiram uma formação cultural relacionada a conhecimentos sobre ciência, e mais especificamente sobre física, acreditamos na necessidade de superação da maneira como o ensino é conduzido em quase todas as aulas dessa disciplina. Nesse sentido, acreditamos no trabalho com diferentes estratégias de ensino.

Sabemos, entretanto, que a ênfase quase exclusiva nos cálculos no ensino médio está relacionada a uma cultura de formação que supõe como única atividade admissível para a física o manejo da linguagem matemática. Sabendo que essa linguagem é fundamental na produção da física, não queremos eliminar totalmente o seu uso nas aulas dessa disciplina. Ao propormos o trabalho com diferentes estratégias de ensino, levamos em conta que os alunos de uma mesma turma não possuem a mesma história de vida nem os mesmos saberes e/ou interesses. Sendo assim, nossa proposta supõe a relevância de desenvolvimentos pedagógicos que busquem superar um modo de pensar os currículos da física que, embora com constantes questionamentos, consequentes em grande parte de resultados encontrados em diversas pesquisas da Área de Educação em Ciências, na prática vem se mantendo sem mudanças significativas.

Por outro lado, para que, além de exercícios matemáticos, outras estratégias componham efetivamente os currículos trabalhados nas aulas de física é preciso superar as representações dos envolvidos nesse ensino sobre o que é e o que não é adequado para essas

aulas. Nesse sentido, dada a importância do professor e com a expectativa de provocar mudanças no ensino básico, acreditamos que a sua formação inicial seja o momento privilegiado para se trabalhar com perspectivas de mudanças.

Neste artigo analisamos possíveis efeitos de algumas das condições de produção estabelecidas numa disciplina de caráter pedagógico de um curso de formação inicial de professores de física. Embora tenhamos trabalhado com várias estratégias de ensino, focalizamos aqui representações dos futuros professores sobre trabalhar com História da Ciência (HC) em aulas de física no ensino básico. O foco nas representações dos estudantes se justifica pela importância que elas poderão ter sobre suas ações quando professores.

O apoio teórico em que alicerçamos nosso estudo são algumas noções da análise de discurso na vertente iniciada na França por Michel Pêcheux. E no que se refere à HC, se consideradas as publicações em periódicos da área de Ensino de Ciências no Brasil a HC tem estado bastante representada. Entretanto, ainda são poucos os relatos de trabalhos empíricos que verificaram diretamente seu funcionamento em sala de aula. Dentre aqueles com abordagens empíricas e que testaram situações de ensino no nível superior, citamos aqui: Teixeira et. al. (2001); Harres (2002); Moreira et.al. (2007); Longhini (2009); Gatti (2010).

As informações que possibilitaram a construção dos dados aqui analisados são de caráter pedagógico, sendo coletadas numa disciplina que faz parte do currículo dada Licenciatura em Física, numa das universidades estaduais do Estado de São Paulo, compondo o primeiro semestre do curso. Analisamos parte de um questionário respondido pelos estudantes no primeiro dia de aula e partes do artigo que cada estudante escreveu ao final da disciplina. Nos dois casos

focalizamos as produções dos estudantes que se referiram ao uso da HC em aulas de física no ensino médio.

Nosso propósito ao fazermos a análise dessas produções foi responder a seguinte questão de estudo: *Como as condições de produção estabelecidas na disciplina contribuíram para mudanças nas representações dos estudantes sobre o funcionamento da HC no ensino médio em aulas de física?*

Apoio teórico-metodológico

Usualmente, quando falamos da linguagem pensamos num meio de comunicação, mas ela não é apenas isso. Quando pensamos na física, pensamos na linguagem matemática como meio de produzi-la. Entretanto, a linguagem é constitutiva, parte integrante dessa disciplina em diversos aspectos, não apenas o matemático. E quando pensamos o seu ensino, bem como o ensino em geral, pensamos em sujeitos que em relação à linguagem se constituem mutuamente. Daí admitirmos a pertinência de um apoio teórico metodológico voltado para as questões de linguagem, ao pretendermos analisar possíveis efeitos de algumas das condições de produção, estabelecidas numa disciplina, sobre as representações de futuros professores a respeito do trabalho com a HC em aulas de física no ensino básico. O estudo sustenta-se teoricamente em noções da Análise do Discurso (AD) na perspectiva iniciada na França por Michel Pêcheux. Nessa perspectiva, pressupõe-se a não transparência da linguagem e o papel das condições de produção na formulação dos discursos, com destaque para as representações *sociais*. Buscamos apoio mais diretamente nas noções de *discurso*, *condições de produção*, e *representação*, como são compreendidas nessa vertente da AD.

Orlandi (1983) considera a *linguagem* como um trabalho, no sentido de não ter caráter natural, nem arbitrário. Assim pensada, ela

é resultado da interação entre o homem e as realidades natural e social, ou seja, constitui-se em produção social, e deve ser pensada como uma mediação necessária: “[...] a mediação como relação constitutiva, ação que modifica, que transforma” (p. 18), sendo os processos, na constituição da linguagem, processos sócio-históricos. O *discurso* é compreendido como efeito de sentidos entre interlocutores.

A autora evidencia que o sentido não é constituído apenas pelos interlocutores, mas está associado à situação e ao contexto histórico-social. Ainda comenta a relevância da representação social, associando a significação do processo discursivo às *posições* em que se situam os interlocutores, tendo em conta as noções de *condições de produção* e *representação*:

[...] os interlocutores, a situação, o contexto histórico-social (i. é., as condições de produção) constituem o sentido [...]. Quando se diz algo, alguém o diz de algum lugar da sociedade para outro alguém também de algum lugar da sociedade e isso faz parte da significação. [...] há nos mecanismos de toda formação social regras de projeção que estabelecem a relação entre as situações concretas e as representações¹ dessas situações no interior do discurso. É o lugar assim compreendido, enquanto espaço de representações sociais, que é constitutivo da significação discursiva. [...] E finalmente, faz parte da estratégia discursiva prever, situar-se no lugar do ouvinte (antecipação das representações), a partir de seu próprio lugar de locutor, o que regula a possibilidade de respostas, o escopo do discurso (p. 19).

Lembramos aqui que as condições de produção não são apenas as imediatas, ou seja, aquelas em que ocorrem as manifestações dos sujeitos, mas também as sócio-históricas, as condições de vida, a história do sujeito.

1 Grifo nosso

É fato também que, para compreensão de representações, entrevistas seriam mais adequadas que as respostas fornecidas num questionário, pois ao escrever o sujeito tem mais oportunidade de refletir sobre a quem se dirige a resposta, sobre o que será feito com ela, etc. Ou seja, ao fornecer uma resposta por escrito o sujeito pode certamente levar mais em conta as condições em que a pergunta foi formulada, sem que chegue a se deter mais diretamente nas representações construídas ao longo de toda a sua vida. Entretanto, dada a situação em que as informações foram coletadas, na qual a prioridade era a aula, ou seja, as relações pedagógicas que poderiam ser estabelecidas num dado tempo, e não a investigação acadêmica, propriamente dita, admitimos que as análises de respostas ao questionário, respondido no início da disciplina, e de trechos do artigo escrito pelos estudantes no seu final, seriam contribuições significativas como respostas à questão de estudo apresentada no item anterior deste artigo.

As representações iniciais

No primeiro dia de aula da disciplina a que este texto se refere, solicitamos aos estudantes que haviam acabado de entrar na Universidade que respondessem um questionário. Nossa intenção era obter uma visão geral da turma com a qual trabalharíamos durante o semestre: um pouco das suas histórias de vida, opiniões, posições e aspirações. As perguntas solicitavam: o que pretendiam fazer profissionalmente; se haviam até então estudado em escola pública ou privada; quais eram suas melhores e piores lembranças do ensino básico; se haviam gostado ou não das aulas de Física no ensino básico; porque haviam escolhido fazer física; se já tinham alguma experiência como docentes e, se sim, onde e problemas enfrentados; como achavam que devia ser uma boa aula de Física; qual era para eles o papel da ciência e em

particular da física e da educação na sociedade; o que faziam na opinião deles os pesquisadores da Física e da Educação em Física; quais eram suas expectativas em relação ao curso de Licenciatura e em particular em relação à disciplina que estavam iniciando e, por último, nessa primeira parte do questionário, perguntávamos se gostariam de fazer algum comentário.

Não é nosso objetivo comentar as respostas obtidas junto às 15 questões que constituíram essa primeira parte do questionário, mas julgamos importante explicitarmos os assuntos sobre os quais os estudantes foram questionados pela influência que teriam sobre as condições de produção pedagógicas da disciplina. Cabe destacar ainda que, embora neste texto focalizemos nosso olhar sobre a HC no ensino da Física, isso ocorreu como parte de um trabalho de caráter pedagógico abrangente também a outras abordagens desse ensino.

Na segunda parte do questionário uma pergunta focalizava diretamente abordagens possíveis em aulas de física. Depois de os questionarmos sobre o que todo o professor desta disciplina deveria saber, formulamos uma questão com 11 alíneas, referentes a diferentes estratégias/recursos de ensino. Aqui a reproduzimos no que se refere apenas a textos de HC: *Suponha que você tenha que organizar uma aula de física para o ensino médio. Comente como você acha que podem ser utilizados os seguintes recursos e qual a importância e problemas dessa utilização: f) textos de história da ciência.*

Cabe aqui notar que as respostas apontaram questões a serem selecionadas para abordagem num plano de curso previsto para apenas 30 horas aula, sendo duas por semana, com uma proposta que incluía, além da HC, a abordagem de estratégias de ensino envolvendo: leitura, experimentação e ciência tecnologia e sociedade.

Com a reprodução de algumas das respostas, apresentadas a seguir, podemos notar a variedade de representações existentes nessa turma, ou seja, o quanto a posição desses estudantes era diferenciada de uns para os outros, com relação ao possível uso da HC em aulas de física:

- para mostrar a progressão do conhecimento; deve-se comentar;
- deve-se sempre comentar de onde surgiu aquilo que vai ser dado, pois assim consegue-se prender alguns alunos que gostam da área de história;
- bibliografia optativa para os alunos mais interessados.
- importante para despertar a curiosidade e não tornar a aula cansativa.
- servem para “humanizar” a ciência.
- devido à carga horária não penso que esse tipo de material deva ser utilizado com muita frequência.
- pode ser válido, mas não sempre.
- podem ser utilizados para situar os alunos em que época os temas foram desenvolvidos e de que maneira a ciência se desenvolveu ao longo do tempo.
- não vejo nenhum benefício prático; em geral é uma leitura enfadonha.
- importante para gerar ideias e estimular o processo histórico investigativo.
- excelentes, são interessantes e estimuladores.
- interessantes pois mostram a maestria com que os cientistas de épocas mais remotas explicavam os acontecimentos, sendo que muitas dessas explicações são válidas até hoje.
- eles podem ser sintetizados e inseridos nas aulas para mostrar o caminho cheio de pedras que os nossos cientistas percorreram, como chegaram em suas descobertas e como estas afetam o nosso dia-a-dia.

Nessas treze respostas podemos ver a HC relacionada à “progressão” do conhecimento, mas também a uma leitura enfadonha. Podemos ainda, entre outras representações, notar a possibilidade do seu uso para/como: alunos que gostam de história, bibliografia complementar para alunos interessados, despertar a curiosidade, gerar processo investigativo, mostrar a maestria de cientistas, etc.

Condições de produção relacionadas à história da ciência

No plano da disciplina constava o objetivo de contribuir para que os licenciandos: analisassem criticamente e se posicionassem quanto às suas representações sobre ciência e ensino, e especialmente sobre o ensino da física no grau médio; numa pesquisa em Ensino de Física, compreendessem o funcionamento de suas partes (objetivos, procedimentos, aportes teóricos e resultados) e notassem a relevância dos modos de relacionar essas partes na exposição da pesquisa; reconhecessem algumas das tendências da pesquisa em Ensino de Física.

As atividades desenvolvidas incluíram a participação em exposições orais, leituras coletivas, trabalhos práticos, e assistência de vídeos; leituras individuais; participação em discussões em pequenos grupos ou com a classe toda; elaborações escritas de análise e síntese de textos; produção e solução de questões relativas aos conteúdos trabalhados na disciplina.

Dentre os textos incluídos na bibliografia básica, os seguintes tinham o propósito de viabilizar o trabalho com questões relacionadas à HC no Ensino da Física: Almeida (2004a e 2004b); Peduzzi (2001); Pessoa Jr. (1996). No texto de Almeida (2004a) é analisada a leitura, por alunos do ensino médio e por licenciandos em Física, de um pequeno trecho do *Tratado sobre eletricidade e magnetismo*, publicado por Maxwell em 1873. No texto

Almeida (2004b) é discutida a possibilidade de diferentes abordagens da dimensão histórica na HC e apontada a necessidade de que elas sejam explicitadas quando se pensa a utilização da HC no ensino da ciência. O texto de Peduzzi (2001) aborda a utilização didática da HC, apontando aspectos que ela permite trabalhar e questionando abordagens que considera como o seu mau uso. Finalmente, o texto de Pessoa Jr. (1996), partindo de concepções que embasariam o ensino de física, aponta situações em que admite que talvez a HC não tenha um papel importante e concepções para as quais, segundo o autor, o uso da HC seria relevante, referindo-se à questão do quê, para quem, bem como a que tipos de abordagens históricas.

Seguem dois exemplos de atividades que foram solicitadas para entrega na aula seguinte: 1) *leitura de dois artigos, Peduzzi (2001) e Pessoa Jr. (1996), e por escrito: 1) Explícite suas dúvidas e discordâncias em relação ao que os autores dizem nesses textos; 2) Você utilizaria História da Ciência em aulas de Física para o Ensino Médio? Justifique.* Ainda referente à HC, num outro dia como tarefa extraclasse com a leitura de Almeida (2004a e 2004b) foi solicitado: *Explícite contribuições possíveis da História da Ciência e do uso de textos originais de cientistas para se ensinar Física.*

A avaliação dos alunos na disciplina, incluiu: duas avaliações escritas de verificação de leituras; entrega de pequenos trabalhos extraclasse e participação nas aulas; redação de um artigo com o seguinte título: Identificação de problema(s) na física escolar no ensino médio e suas possíveis soluções. Para a elaboração do problema, a sugestão era que os estudantes fizessem entrevistas a professores e alunos do ensino médio. O texto deveria se sustentar em pelo menos três textos da bibliografia básica, incluindo as referências do plano de curso que haviam sido pensadas para o trabalho com as diferentes abordagens de ensino estudadas naquela disciplina.

Os estudantes também deveriam seguir normas fixas quanto à forma. Tratava-se de um curto artigo de três a quatro páginas e foi, certamente, para a maioria o primeiro artigo de natureza científica que escreveram, uma vez que se tratava de estudantes recém entrados na Universidade.

Como exemplo de questões incluídas nas avaliações escritas, destacamos três referentes aos textos de HC: 1) *Dê dois exemplos de concepções de ensino de ciências, para as quais, segundo Osvaldo Pessoa Jr. em texto lido nesta disciplina, talvez a História da Ciência não tenha um papel importante, e indique duas situações em que, segundo o mesmo autor, a História da Ciência deve ser utilizada em aulas de física;* 2) *Peduzzi (2001), em texto lido nesta disciplina, diz: “[...] a afirmação de que a queda de uma maçã teria levado Newton à gravitação universal enfatiza, preponderantemente, ao menos, a ideia do acaso na ciência [...]”. O autor é favorável ao uso dessa afirmação, ou não? Explique sua resposta.* 3) *Em texto lido nesta disciplina, Almeida cita Ginzburg para dizer que esse autor “[...] se refere ao paradigma científico centrado na física de Galileu, pautado no emprego da Matemática e no chamado ‘método experimental’, que implicam quantificação e repetibilidade dos fenômenos, diferentemente de um grupo de disciplinas que o autor chama de indiciárias. Segundo Ginzburg, critérios para julgamento da cientificidade pautados na quantificação e repetibilidade se aplicam às disciplinas que ele chama de indiciárias? Explique sua resposta.*

Discursos antes e depois das condições de produção estabelecidas na disciplina

Neste item, apresentamos o que admitimos como supostas mudanças nas representações de alguns estudantes, que cursaram a disciplina, sobre o uso da HC em aulas de física, focalizando suas respostas à questão, formulada no primeiro dia de aula, sobre

a possibilidade de uso de textos de HC no ensino médio e o que abordaram sobre HC no artigo entregue no final da disciplina². Nesse sentido, lembramos que, na disciplina haviam sido trabalhados artigos focalizados em outras abordagens de ensino, além da HC. Aqui destacamos apenas alguns dos trechos dos artigos em que alguns dos estudantes se referiram à HC. Lembramos também que uma das condições de produção do artigo era que ele valeria parte da nota que os estudantes teriam ao final da disciplina.

Enquanto Jorge no primeiro dia de aula respondeu na alínea referente ao uso de textos de HC: “são importantes para cativar o interesse do aluno”, no seu artigo pode-se ler o seguinte trecho:

Jorge - Outra coisa que facilita muito a compreensão da física e faz com que os alunos tenham uma ideia de como se constrói ou se construiu a ciência, é a abordagem nas aulas de física, ou a utilização didática da história da ciência. Porém devemos ter um cuidado ao utilizar a história da ciência nas aulas de física, pois muitos livros de história da física, principalmente os destinados ao ensino médio, contam uma pseudo-história, muitos mitos e historinhas são contadas para simplificar o processo histórico, os cientistas são taxados como gênios e fica a falsa impressão de que é fácil se fazer ciência, não mostra quantas vezes eles erraram e tiveram que começar todos seus estudos de novo.

Se aparentemente a representação de Jorge sobre o uso da HC no ensino, no primeiro dia de aula, tinha o papel de cativar os alunos, no artigo ele aponta que ela “facilita muito a compreensão da física”, o que não consta como algo que sempre ocorre em nenhum dos textos lidos na disciplina e, certamente, o uso HC em aulas de física não pode ser pensado como algo que contribuirá de maneira positiva para a compreensão da Física necessariamente para todos os estudantes. Mas

.....
2 Todos os nomes de estudantes são fictícios.

também, embora sem fazer citações, ele evidencia ter se detido em elementos trabalhados nesses textos, como ao se referir aos cuidados a serem tomados quando a HC for usada: “[...] a utilização didática [...] começaram tudo de novo”. Esse trecho sintetiza muito do que é dito no texto de Peduzzi (2001).

Joaquim na primeira aula afirmou que textos de HC “[...] também servem apenas de curiosidade” e em seu artigo pode-se ler:

Joaquim - Por fim, falaremos sobre uma questão que vem sendo muito discutida que trata da utilização da abordagem histórica no ensino de ciências. Essa abordagem quase nunca é feita no grau médio, o que considero ser um defeito, pois, segundo Osvaldo Pessoa Jr. (1996), no grau médio, ‘Podemos ensinar Física para que o aluno aprenda como se faz Ciência, pintando um quadro do que é ser cientista. Neste caso, parece claro que a história tem um papel bastante importante.’ Peduzzi (2001) também nos fornece várias razões pelas quais devemos inserir a história da ciência no ensino, tais como a de mostrar como o pensamento científico se modifica com o tempo, evidenciando que as teorias científicas não são ‘definitivas e irrevogáveis’, mas objeto de constante revisão; e a de melhorar o relacionamento professor-aluno, além de levar o aluno a se interessar mais por física.

Notamos que Joaquim no primeiro dia de aula considera a HC apenas como curiosidade e no artigo ele cita trechos dos textos de Pessoa Jr. e de Peduzzi, dois textos das condições de produção da disciplina, para evidenciar um posicionamento desfavorável ao não uso da HC no Ensino Médio. Entretanto, como Jorge, ele também faz uma generalização que não é assim colocada naqueles textos. A generalização ocorre em relação ao possível aumento do interesse dos alunos pela física, enquanto que o texto de Peduzzi aponta isso apenas como possibilidade.

Antonio no primeiro dia de aula afirmou que usar textos de HC *“como curiosidade é interessante. Não vejo nenhum benefício prático. Em geral é uma leitura enfadonha.”* E em seu artigo escreveu:

Pessoa Jr. nos apresenta uma maneira de se incorporar a História da Ciência no ensino de Física através do perfil epistemológico de alguns grandes cientistas. Em suas palavras: ‘Neste caso, o professor focalizaria alguns cientistas importantes, como Kepler, e examinaria com cada um partiu de certas ideias, como que aos poucos foi elaborando uma nova teoria ou equação, como que ele descobriu algo novo ou resolveu tal problema, com quem ele dialogou, quais foram os erros que cometeu, etc. (p. 5)’

Através dessa abordagem, os alunos seriam introduzidos a uma nova forma de pensar, acompanhando de perto todo o raciocínio científico, desde a identificação de um fenômeno físico ou a elaboração de um problema, até a completa descrição do fenômeno ou solução do problema. Haveria até mesmo espaço nesta abordagem para a inclusão da leitura de algum texto original do cientista em estudo.

Almeida 2004 descreve uma pesquisa realizada com alunos de ensino médio onde foi proposta a leitura de um texto original de Maxwell acompanhado de algumas questões de interpretação de textos. Apesar de terem sido apresentadas respostas com sentidos interditados, ou mesmo respostas que eram uma simples cópia do texto, também houve respostas que de acordo com a autora ‘... mostram estudantes que se posicionam enquanto leitores, estudantes que, aparentemente, não desviaram sua atenção como ocorre frequentemente em aulas de física, nas quais o uso quase exclusivo de linguagem formal dificulta qualquer posicionamento de quem não compreende essa linguagem (p. 107)’

A vantagem desta abordagem é que ela estimula o diálogo entre professor e aluno, e através deste, o professor pode construir, a partir dos sentidos interditados de alguns alunos, o saber científico desejado.

Antonio, no primeiro dia de aula, descaracteriza a utilização da HC até como curiosidade ao afirmar que não vê nenhum benefício nesse uso e ao acrescentar até que a considera uma leitura enfadonha. No seu artigo o estudante cita trechos de dois dos artigos lidos na disciplina. Após a citação do trecho do artigo de Pessoa Jr. redige uma síntese cuja finalização se relaciona com a citação que faz a seguir de um trecho do artigo de Almeida, também lido na disciplina. Esse trecho se refere à leitura de um original de cientista. Certamente, no modo utilizado para redigir o seu artigo, Antonio levou em conta as condições de produção trabalhadas na disciplina. Além disso, a conclusão constante no último parágrafo desse trecho do artigo que escreveu evidencia uma produção de sentidos em relação ao ensino que valoriza o diálogo entre professor e aluno, com o primeiro trabalhando os sentidos dos alunos que considerar serem interditados.

Márcio no primeiro dia de aula já pareceu evidenciar representações favoráveis ao uso da HC no ensino. Ele afirmou sobre a possibilidade de uso de textos de HC no ensino médio: *“Importante para gerar ideias e estimular o processo histórico investigativo”*. E em seu artigo, discorreu sobre várias possibilidades de uso da HC no ensino. Possibilidades que podemos encontrar nos textos de Pessoa Jr. e ou de Peduzzi, sendo que Márcio, inclusive citou alguns trechos desses autores. Entretanto, aqui reproduzimos apenas dois trechos do seu artigo. Ele se refere a Pessoa Jr. dizendo que:

Segundo Osvaldo Pessoa Jr., o único fato adotado no ensino de Física é que para o aluno conhecer as leis da Física é necessário saber resolver equações ou que seja capaz de derivar esta lei se preciso, dando pouca ênfase, por exemplo às aplicações práticas dessas leis. Além do mais, os livros trazem resumos dos fenômenos que são geralmente associados a uma equação sem muitas explicações

e com raríssima deduções e aplicações que dificultam associações e interpretações por parte do aluno. Este parágrafo e o próximo são importantes para demonstrar porque os alunos não leem seus livros de física e o motivo pelo qual se sentem desmotivados na sala de aula.

E no parágrafo seguinte re se refere a entrevistas realizadas a alunos do ensino médio dizendo:

O processo histórico-cultural acerca das teorias físicas é também completamente inexistentes nos livros didáticos. Interessante sobre este aspecto é que 50% dos alunos disseram ter como matéria preferida história, principalmente por se tratar diretamente de relações humanas e promover debates intermináveis sobre estas relações, resgatando situações do passado como referência.

Esse trecho nos dá uma indicação de que possivelmente uma das condições de produção que tiveram bastante repercussão na produção de sentidos de Márcio ao escrever o seu artigo foram as entrevistas realizadas. E ao entrevistar alunos que gostavam de história ele supôs que eles também gostariam de HC.

Reproduzimos aqui também um trecho do artigo do Márcio em que ele relaciona textos de HC à facilidade de leitura.

E por esta última colocação pode-se constatar que no mínimo a leitura ficaria menos complexa se os livros utilizassem textos de História da Ciência, ou seja teria uma linguagem comum próxima ao que o aluno está acostumado em situações do seu dia a dia.

Neste trecho notamos dois sentidos interditados que deveriam ser discutidos após a entrega do artigo. Primeiramente por admitir que os textos de HC utilizam a linguagem comum, o que não é verdade. Eles são escritos em formações discursivas próprias dessa disciplina. Apenas não utilizam a linguagem formal como no caso da física que utiliza a matemática. Além disso, ler HC pode ser mais

ou menos complexo que ler outras áreas/tipos de texto dependendo de quem for o leitor.

Apesar de termos notado alguns equívocos no artigo entregue no final da disciplina, um aspecto bastante positivo da solicitação de redação desse artigo foi a maneira como, de uma afirmação bem geral na primeira aula sobre o uso ou não da HC, nele os estudantes passaram a citar suas interpretações específicas a partir de sentidos produzidos na leitura dos textos propostos como uma das condições de produção da disciplina. Quanto aos sentidos considerados interditados, certamente a possibilidade de discussão do artigo em classe, após a sua entrega, seria uma condição bastante relevante para a reflexão dos estudantes.

Em mais um exemplo, do que acabamos de afirmar, dentre os(as) estudantes que no primeiro dia já haviam manifestado opiniões favoráveis ao uso da HC em aulas de física, Mara respondeu posicionando-se sobre como esse uso deveria ocorrer: *“falar um pouco das origens históricas dos cientistas relacionados à matéria dada, bem como a repercussão na sociedade, situando o aluno no contexto histórico”*. E no seu artigo ao citar Pessoa Jr pode-se notar apontamentos sobre quando e como utilizar a HC no ensino:

É sabido que a abordagem histórica é muito interessante no ensino de ciências, mas é preciso uma reflexão sobre os propósitos desse ensino, de que forma e quando é apropriada essa abordagem. Com base em Osvaldo Pessoa Jr. podemos ter uma elucidação sobre quando e como esse conhecimento histórico deve ser passado. Segundo esse autor é conveniente um estudo da história da ciência quando se quer ensinar ao aluno como se faz ciência, o que é ser cientista; um outro caso é quando o propósito é formar uma ‘visão de mundo’ coerente com a natureza.

Nas considerações que fazemos a seguir apontamos alguns limites do trabalho realizado.

Considerações finais

É fato que aquilo que pode ser desenvolvido numa única disciplina é muito pouco, principalmente se pretendemos não apenas conhecer aspectos de como os estudantes produzem significados ao lerem artigos da área de Educação em Ciências, mas também de algum modo ampliar suas possibilidades de reflexão sobre as próprias representações.

Certamente os exemplos apresentados no item anterior evidenciam possibilidades das condições de produção estabelecidas para a disciplina contribuírem para a produção de sentidos sobre o uso da HC no ensino da física, apontando o quanto pode ser positivo o trabalho com textos de HC em disciplinas pedagógicas da Licenciatura em Física.

Já quanto à possibilidade desses estudantes virem a trabalhar com HC em aulas de física quando professores, precisamos ter em conta tanto as condições de produção da disciplina quanto as condições de trabalho que esses estudantes encontrarão quando professores.

Quando às primeiras, lembramos a citação de Orlandi neste artigo, quando a autora afirma que o lugar compreendido, enquanto espaço de representações sociais é constitutivo da significação discursiva, sendo que a antecipação das representações do locutor regula a possibilidade de resposta, ou seja, as representações pertencem às condições de produção do discurso. Condições essas que, no caso da redação do artigo em questão, incluíam, inclusive, a antecipação de quem

iria ler o artigo e era a responsável pela aprovação, ou não, na disciplina.

Já quanto às condições em que os futuros professores irão desenvolver o seu ensino, embora assumindo como proposta a necessidade de mudança, sabemos que, se mantida a situação atual, a ideologia vigente e a natureza das condições trabalhistas para o professor ainda impõem a quase exclusividade de trabalho com exercícios repetitivos em aulas de física. Esses, no entanto, não são motivos para não se considerar as possibilidades efetivas de mudança.

Referências

- ALMEIDA, Maria José P. M. Historicidade e interdiscurso: pensando a educação em ciências na escola básica. *Ciência & Educação*, v. 10, n. 3. 2004a, p. 333-341.
- _____. Lendo um físico na escola. In: *Discursos da ciência e da escola ideologia e leituras possíveis*. Campinas: Mercado de Letras: Campinas, 2004b. p. 11-32 e p. 95-126.
- GATTI, S. R. T.; NARDI, R.; SILVA, D. História da ciência no ensino de física: um estudo sobre o ensino de atração gravitacional desenvolvido com futuros professores. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 15, n. 1, 2010. p. 7-59.
- HARRES, J. B. S. desenvolvimento histórico da dinâmica: referente para a evolução das concepções dos estudantes sobre força e movimento. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 2, n. 2, 2002. p. 89-101.

LONGHINI, M. D. NARDI, R. Como age a pressão atmosférica? Algumas situações-problema tendo como base a história da ciência e pesquisas na área. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 26, n. 1, 2009. p. 7-23.

MOREIRA M. A.; MASSONI, N. T.; OSTERMANN, F. História e epistemologia da física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 1, 2007. p. 127-134.

ORLANDI, Eni P. *A linguagem e seu funcionamento: as formas do discurso*. São Paulo: Brasiliense. 1983. p. 18-31.

ORLANDI, Eni P. *Discurso em análise: sujeito, sentido, ideologia*. Campinas: Pontes, 2012, 239p.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da história da ciência. In: PIETROCOLA, M. (Org.). *Ensino de Física: Conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001. 125-150.

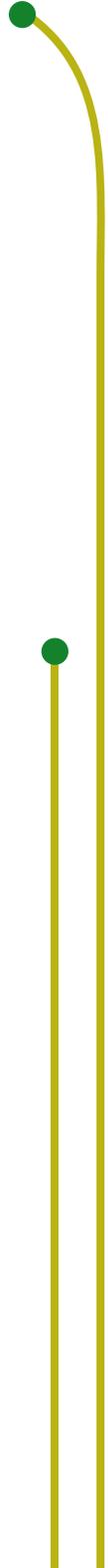
PESSOA Jr., Osvaldo, Quando a abordagem histórica deve ser usada no ensino de ciências? *Ciência & Ensino*, n. 1, 1996. p. 4-6.

TEIXEIRA, E. S.; EL-HANI, C. N.; FREIRE Jr., O. Concepções de estudantes de estudantes de física sobre a natureza da ciência e sua transformação por uma abordagem contextual do ensino de ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação e Ciências*, v. 1 n. 3, 2001. p. 111-123.





Estudios epistemológicos





GLADIOS





Galacidalacidesoxyribonucleicacid de Salvador Dalí (1963).

Naturaleza y estructura de las teorías científicas: el enfoque semanticista o modelista*

Nature and Structure of Scientific Theories: The semantic or model-theoretic approach

Germán Guerrero Pino
Universidad del Valle
germangpino@gmail.com

Resumen

El artículo busca contribuir a la enseñanza de las ciencias naturales tematizando el concepto de teoría científica desde los últimos desarrollos de la filosofía de la ciencia; en particular, se exponen los dos enfoques dominantes al respecto, el sintáctico y el semántico, mostrando la mayor adecuación del último a la práctica científica. En otras palabras, respecto a la naturaleza y estructura de una teoría científica, se defiende la idea de que es más apropiado concebir una teoría como un conjunto de idealizaciones o modelos (estructuras) que pretenden representar ciertos aspectos del mundo natural, no todos, en lugar de entenderla como un conjunto de enunciados que lo describen.

Abstract

The article seeks to contribute to the teaching of natural sciences discusses the concept of scientific theory from the latest developments in the philosophy of science. In particular, the syntactic and semantic dominant approaches are exposed and it showing the greater adequacy of the last to scientific practice. In other words, about the nature and structure of scientific theory, the article shows that is more appropriate to conceive a theory as a set of idealizations or models (structures) that purports to represent some aspects of the natural world, not all, instead of understood it as a set of statements.

.....
* Las ideas directrices del presente artículo se encuentran en mi libro Guerrero (2005), aunque allí están expresadas en un lenguaje relativamente especializado. Precisamente, uno de los objetivos del artículo es hacer una exposición más comprensible de dichas ideas, aunque sin perder rigurosidad. Además, una primerísima versión de este artículo se encuentra en Guerrero (2009), el cual ha quedado enriquecido aquí con una presentación más sistemática y precisa del tema, acompañada de ejemplos e ilustraciones.



Palabras Clave

Enseñanza, ciencia, teoría, modelos, idealizaciones, semántica.



Key Words

Education, science, theory, models, idealizations, semantics.



Introducción

En el campo de la enseñanza de ciencias naturales se viene desarrollado, de manera importante, en los últimos años, la línea de investigación sobre *naturaleza de la ciencia*, bajo el convencimiento de que una mejor comprensión de las características de lo que es la ciencia, en sus múltiples dimensiones, puede contribuir positivamente en el proceso enseñanza-aprendizaje. En esta línea de investigación las reflexiones sobre la historia de las ciencias y la filosofía de las ciencias (véase, por ejemplo, Matthews: 2012, Hodson: 2008, 2009 y 2011) desempeñan un papel clave, ya que se proponen como un correctivo para superar defectos importantes de la enseñanza, al focalizar principalmente la forma como trabaja la ciencia, en un sentido amplio, mostrando una imagen dinámica de ciencia, acorde con lo que históricamente se ha dado. Además, la consideración de elementos históricos y filosóficos en el proceso de enseñanza permite hacer más énfasis en el desarrollo de capacidades, en donde lo importante no son los contenidos sino la comprensión de asuntos importantes (generales) para la vida como profesional y en sociedad, posibilitando así una enseñanza más significativa para los estudiantes.

Ahora bien, es un hecho que la producción de teorías (científicas) hace parte de la dinámica de la ciencia y que este es un aspecto importante, aunque no el único. El esclarecer la naturaleza y estructura de las teorías científicas ha sido objeto estudio por parte de la filosofía de la ciencia en el último siglo, de manera particular, logrando resultados interesantes que, considero, permiten una mejor comprensión de la naturaleza de la ciencia y, por lo tanto, de su enseñanza. Por tanto, el artículo busca contribuir a la enseñanza de las ciencias naturales tematizando el concepto de teoría científica desde los últimos desarrollos de la filosofía de la ciencia; en particular, se

exponen los dos enfoques dominantes al respecto, el sintáctico y el semántico, mostrando la mayor adecuación del último a la práctica científica. En otras palabras, respecto a la naturaleza y estructura de una teoría científica, se defiende la idea de que es más apropiado concebir una teoría como un conjunto de idealizaciones o modelos (estructuras) que pretenden representar ciertos aspectos del mundo real, en lugar de entenderla como un conjunto de enunciados que lo describen.

Hablando en términos amplios, el tema de la naturaleza de las teorías científicas acerca de la realidad tiene que ver con tres cuestiones particulares: ¿qué tipo de cosa es una teoría?; ¿cuáles son sus elementos determinantes?; ¿cuál es su estructura?; y ¿qué dice acerca de la realidad?, ¿cuál es su contenido empírico?, ¿cómo se relaciona una teoría con la realidad o mundo natural? La exposición que sigue aborda, principalmente, los dos primeros temas y el último sólo lo toca tangencialmente. Para ello, primero se hace un corto recuento histórico sobre la forma como se han entendido las teorías científicas; después se presentan las generalidades de la concepción modelista (o semanticista) de las teorías y sus ventajas respecto a la sintáctica; para, a continuación, clarificar la noción de modelo involucrada en el enfoque semántico; y, finalmente, se presentan los elementos de una teoría, lo cual permite puntualizar la función primaria de las leyes y, también, clarificar, en términos generales, la relación teoría-mundo.

El concepto de teoría científica en contexto histórico

El tema de la naturaleza y estructura de las teorías científicas es relativamente reciente dentro del campo de la filosofía de la ciencia: comienza con las reflexiones sistemáticas de Mach, a finales del siglo XIX, las cuales retoman los empiristas lógicos, convirtiendo el tema en un problema central de su pro-

grama de investigación. De tal manera que, desde entonces, hace parte de la agenda de trabajo de los filósofos de la ciencia. Pero aun así, la reflexión sobre este asunto hay que remitirla hasta la filosofía griega, más en concreto hasta los trabajos en geometría por parte de Euclides. Con propósitos expositivos, podemos dividir en cuatro periodos las distintas reflexiones sobre la forma como se han entendido las teorías científicas: el *antiguo*, que incluye las perspectivas de Euclides y Newton, principalmente; el *clásico* o *sintáctico* (1900–1960), en el sentido de ser la consolidación del periodo anterior, la perspectiva dominante y punto de partida de la reflexión filosófica contemporánea; el *historicista* (1960–), dominado por la perspectiva histórico-social de la ciencia, impulsada por Kuhn, entre otros; el *semanticista* (1960–), que representa un giro respecto a la concepción de las teorías dominante.

Periodo antiguo

En este periodo tenemos dos obras especialmente paradigmáticas, una es *Elementos* (300 a.c.) de Euclides y la otra *Principios matemáticos de la filosofía natural* (1687) de Newton. La primera sienta por primera vez los elementos distintivos en la forma de presentar una teoría geométrica: ésta debe contener definiciones, como *punto es aquello que no tiene partes*; postulados, como *por dos puntos pasa una y sólo una recta*; y teoremas, como el teorema de Pitágoras. En tanto que los *Principia* de Newton implementan la propuesta euclidiana en las teorías físicas, de una manera asombrosa y con unos resultados impresionantes, de tal manera que influenciará la forma de presentar las teorías físicas hasta, por lo menos, la década de los treinta del siglo XX, pasando por la formulación del electromagnetismo por Maxwell.

En los *Principia* encontramos: definiciones como las de masa, cantidad de movimiento, fuerza, etc.; axiomas o leyes como las de iner-

cia, del movimiento, acción-reacción y de gravedad; y teoremas como, por ejemplo, la ley de la caída de los cuerpos de Galileo y las leyes de Kepler, que se demuestran a partir de las leyes de Newton. Podríamos decir, sin temor a equivocarnos, que Newton concibe la teoría mecánica que está formulando como sintetizada en sus leyes (las tres leyes de movimiento más la de la gravedad), a partir de las cuales es posible describir o derivar los distintos fenómenos mecánicos de la naturaleza.

Ahora bien, el modelo axiomático propuesto por Euclides en geometría e implementado en la física por Newton no se adecuaba a los cánones de rigor y precisión establecidos por la lógica matemática de finales del siglo XIX y comienzos del XX, de modo que bajo las exigencias de la lógica formal los procedimientos de Euclides y Newton resultan siendo métodos semiformal de axiomatización. Otro punto a destacar aquí es el énfasis que este modelo semiformal (desde luego que esto también se tiene en la concepción formal de las teorías implementada por los empiristas lógicos) hace en las leyes o axiomas que estructuran la teoría, dándole así una importancia central al aspecto lingüístico de una teoría. Como veremos, los empiristas lógicos, en su concepción formal de las teorías empíricas, también subrayarán este aspecto lingüístico de las teorías. En definitiva, desde las perspectivas de Euclides y Newton, una teoría sobre la naturaleza no es más que sus leyes y todo lo que se derive de ellas.

Periodo clásico (1900–1960):

Concepción enunciativa o lingüística

La propuesta empirista lógica sobre las teorías científicas es una radicalización de la forma como Euclides y Newton las entendieron, especialmente porque pretendieron, sin éxito, ajustar las teorías a los moldes estrechos de los sistemas lógicos formales, lo cual implicaba transformar el rico lenguaje de la

ciencia al estricto y reducido lenguaje formal. Los empiristas lógicos asumieron el análisis de la estructura de la geometría –esto es, el método axiomático formal de Hilbert para las matemáticas– como paradigma de las teorías físicas y, en general, de las teorías científicas, lo cual hicieron inspirados, principalmente, en el logicismo inaugurado por Leibniz y desarrollado, a finales del siglo XIX y comienzos del XX, por Frege, Russell y Whitehead; y, por otra parte, en el formalismo de David Hilbert.

En pocas palabras, los empiristas lógicos plantearon que *una teoría es un conjunto de enunciados organizados deductivamente, en sentido estricto*. En términos más precisos, concibieron las teorías científicas como *cálculos formales* axiomáticos parcialmente interpretados mediante reglas de correspondencia o de interpretación que relacionan términos teóricos con términos observacionales. Veamos todo esto más en detalle en el contexto de las principales tesis de la filosofía de los empiristas lógicos¹.

De acuerdo con los empiristas lógicos, desde una perspectiva ampliamente compartida sobre la ciencia, podríamos decir que la ciencia nos proporciona conocimiento del mundo natural, y que para ello, en su forma más elaborada o acaba, construye teorías que explican y predicen de manera sistemática lo que sucede en la naturaleza, los hechos o fenómenos naturales. Se supone entonces, bajo esta perspectiva, que los fenómenos naturales tienen que ver con objetos, propiedades y sucesos que son observables, que pueden percibirse por medio de los sentidos o, en algunos casos, con ayuda de instrumentos.

Ahora bien, el carácter sistemático del conocimiento científico se logra en gran parte mediante elaboración de teorías que proponen o postulan principios o leyes que establecen relaciones entre conceptos que refieren

a *supuestos* objetos, propiedades y sucesos que no son observables por los sentidos, de ahí que se les califique de teóricos a este tipo de conceptos. Al parecer los conceptos teóricos se encuentran en una posición paradójica al ser, al mismo tiempo, necesarios e incognoscibles: necesarios por permitir sistematizar el conocimiento e incognoscibles por ser inobservables. De nuevo, bajo esta arquitectura general de las teorías, propuesta por los empiristas lógicos, una teoría debe dar cuenta de fenómenos, que son observables.

La mecánica newtoniana permite una buena ilustración de lo anterior. Por una parte, esta teoría explica distintos fenómenos que tienen que ver con el movimiento de cuerpos sobre la Tierra y cuerpos celestes. En el primer caso, movimientos como la caída de los cuerpos, el de los proyectiles, el plano inclinado y el pendular; y, en el segundo caso, movimientos como el de la Luna, el de los planetas y el de la Tierra. Por la otra, podríamos decir que este poder explicativo de la teoría radica en haber introducido nuevos conceptos, como masa y fuerza (piénsese en particular en la fuerza de gravedad), que se relacionan entre sí y con conceptos ya conocidos como el de aceleración, a través de las conocidas leyes de movimiento y la ley de gravitación universal. El carácter teórico (inobservable) de la fuerza de gravedad radica en que no es una fuerza que actúa por contacto sino a distancia, que se trasmite a una gran velocidad (al parecer infinita) y sin gasto de energía. La gravedad se trasmite en el vacío, no requiere de ningún medio para ello, y no es posible detectarla directamente sino a través de los efectos que produce entre cuerpos suficientemente masivos.

La anterior imagen general de la estructura de la ciencia, fue precisada y clarificada por los empiristas lógicos bajo una perspectiva dominada por el análisis semántico del lenguaje científico (véase de Fig.1, que es una adaptación de Giere, 1988: 25). El lenguaje

1 Los siguientes seis párrafos los extraigo de Guerrero: 2012.

de una teoría particular se divide en lenguaje observacional y lenguaje teórico. El lenguaje observacional contiene conceptos que refieren a entidades, propiedades y sucesos que son observables, tales como caliente, blanco, mesa y coincidencia. El lenguaje teórico contiene conceptos que denotan entidades, propiedades y sucesos no observables, tales como electrón, átomo, campo gravitacional e impulso psicológico. Los conceptos teóricos son introducidos por las teorías y hacen parte de sus principios o leyes. Los enunciados observacionales contienen únicamente términos observacionales y, por tanto, dado ese carácter observacional, su *verificación* no es problemática: directamente a través de la observación es posible determinar la verdad o falsedad de un enunciado de observación. Aún más, si aplicamos el criterio verificacionista del significado, la significatividad de los enunciados observacionales es igualmente no problemática. De acuerdo con este criterio, un enunciado es significativo si y sólo si es en principio verificable y su significado está dado por las condiciones en que es verificado (véase Carnap, 1963: 45). Los empiristas lógicos ligaron, con este criterio, el tema semántico del significado (empírico o cognitivo) de un enunciado con el tema epistemológico de su verificación.

Por otra parte, tal procedimiento de verificación y de significatividad (mediante la observación directa) no es posible aplicarlo a enunciados teóricos como los principios de una teoría, pues éstos contienen términos teóricos que no son directamente observables. De acuerdo con el empirismo lógico, el significado y la verificación de los enunciados teóricos sólo es posible si se tiene en cuenta que dentro de una teoría hay enunciados mixtos (llama-

dos por algunos *reglas semánticas* y por otros *reglas de correspondencia*) que relacionan los conceptos teóricos con los observacionales, tendiéndose así una especie de puente entre los niveles observacional y teórico. De no existir tal puente, los conceptos teóricos serían asignificativos por completo y los enunciados teóricos serían en principio inverificables. En otras palabras, la evidencia empírica a favor de un enunciado teórico depende de la evidencia disponible a favor de los enunciados observacionales con los que está vinculado en la teoría.

Así, estamos ante un modelo del conocimiento científico de dos niveles, el observacional y el teórico. Ahora bien, este modelo va acompañado de una noción relativamente precisa de lo que es una teoría científica. Como se adelantó, una teoría es un conjunto de enunciados organizados deductiva o axio-

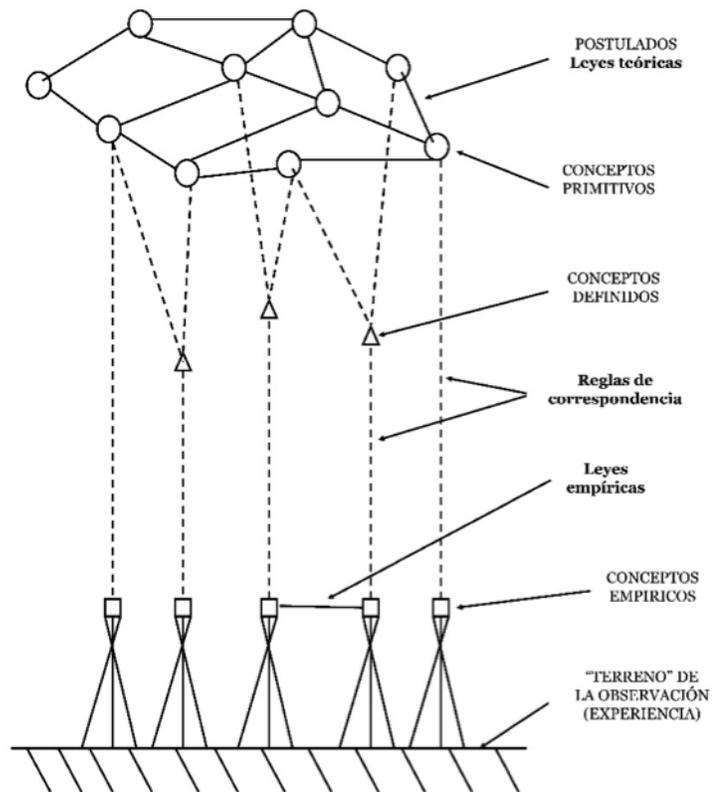


Figura 1. Estructura de una teoría científica, desde el empirismo lógico

máticamente, en sentido estricto. En otros términos, una teoría científica es un cálculo (o sistema) formal axiomatizado, cuyos axiomas representan las leyes fundamentales (o principios) de la teoría, las cuales están parcialmente interpretadas mediante reglas de correspondencia (o de interpretación), que tienen como función relacionar términos teóricos con términos observacionales (véase Carnap: 1939, 125). A este enfoque también se le califica de *sintáctico* porque, en lógica formal, todo cálculo formal se encuentra asociado con la sintaxis de un lenguaje formal y, además, la *derivabilidad* en un lenguaje formal es una noción sintáctica. Una ilustración, bajo esta perspectiva la mecánica newtoniana equivale, básicamente, a las tres leyes de movimiento con la ley de gravedad, más todos los demás enunciados que de esas leyes se deducen lógicamente. Además, se dice que este es un enfoque lingüístico de las teorías debido al énfasis que hace en los enunciados de la teoría.

De acuerdo con los empiristas lógicos, este modelo de dos niveles permite precisar bastante bien, por una parte, la distinción entre leyes empíricas, que son obtenidas inductivamente a partir de la experiencia u observación, y leyes teóricas, que tienen un origen distinto, normalmente son resultado de actos creativos; y, por la otra, la forma como se relacionan estos dos tipos de leyes a través de las reglas de correspondencia. La ley de Boyle y su relación con la teoría cinética de los gases nos permite ilustrar estos diferentes temas.

Se supone que la ley de Boyle tiene un carácter empírico y que gobierna el comportamiento macro de los gases relacionando la presión, la temperatura y el volumen de un gas, mediante la siguiente ecuación: Presión (P) = Temperatura (T) / Volumen (V). Por otra parte, se entiende que la teoría cinética de los gases es la que verdaderamente describe el comportamiento interno de los gases, dando cuenta a su vez de la ley de Boyle. Esto es, la

estructura subyacente de los gases descrita por las leyes teóricas de la teoría de los gases permite describir los fenómenos observables gobernados por la ley empírica de Boyle. La teoría cinética de los gases es, en esencia, la implementación de la mecánica newtoniana en este dominio particular, de modo que los gases están compuestos de moléculas en movimiento que cumplen las leyes de la mecánica newtoniana, v. gr. $F = m \cdot a$.

Es fácil notar, entonces, que la teoría cinética da cuenta del comportamiento macroscópico de los gases; en otras palabras, que de las leyes de Newton se deduce la ley de Boyle. Desglosemos esta idea un poco más a través de las siguientes relaciones. Los **términos observacionales son V, T y P**, los cuales se obtienen fácilmente por observación o mediante mediciones relativamente sencillas, y los **términos teóricos son F y m**, que se supone no son observables y son introducidos directamente por la mecánica newtoniana. Así, las reglas de correspondencia, encargadas de relacionar los términos observacionales con los teóricos tendrían, más o menos, la siguiente forma: V está relacionado con el número de moléculas del gas y la masa (m) de las moléculas; T tiene que ver con velocidad (v) promedio de las moléculas; y P equivale a la fuerza (F) promedio que ejercen las moléculas al chocar contra las paredes.

Periodo historicista (1960-)

En esta visión panorámica e histórica sobre las distintas concepciones de las teorías, respecto al enfoque historicista en filosofía de la ciencia, sólo cabe destacar que la idea central desplegada por sus partidarios es que las teorías científicas, en sentido clásico, son unidades de análisis muy pequeñas, de tal manera que es necesario tomar como unidades aspectos más grandes y complejos, aspectos tales como las cosmovisiones, los paradigmas (Kuhn), los programas de investigación (Lakatos) o las tradiciones de investi-

gación (Laudan). Una de las principales ideas que Kuhn² defenderá es que las teorías nacen (se proponen y aceptan), crecen (se desarrollan y consolidan) y mueren (se dejan de utilizar, son remplazadas por otras), de modo que las teorías son más complejas que un conjunto de enunciados, pero no hay mucha claridad en su planteamiento sobre cómo distinguir una teoría de un paradigma.

Por otra parte, la concepción estructuralista de las teorías, que pertenece al enfoque modelista de las teorías, considera que la mayor y principal contribución de las reflexiones de Kuhn en lo que tiene que ver con la estructura de las teorías radica en sugerir que hacen parte de ésta las aplicaciones paradigmáticas, una de las componentes de un paradigma. Recordemos que los otros tres componentes son las generalizaciones simbólicas (algo equivalente a las leyes), los modelos heurísticos u ontológicos, y los valores metodológicos.

(Alfred Tarski); y axiomatización conjuntista informal de las teorías (Patrick Suppes).

Generalidades sobre el enfoque semanticista

La concepción lingüística ha recibido una variedad de críticas que atacan sus distintas ideas fundamentales. Entre las más mencionadas tenemos: la dicotomía observacional/teórico es insostenible; las reglas de correspondencia no cumplen su función; las teorías no son sistemas axiomáticos; las teorías no son entidades lingüísticas; y las relaciones sintácticas son limitadas. Aquí sólo nos vamos a concentrar en las dos últimas, alrededor de las que existe un amplio consenso.

En cuanto a la primera crítica, el enfoque lingüístico tiene, valga la redundancia, una dependencia lingüística al implicar que las teorías son entidades lingüísticas, ya que todo cálculo formal está asociado con la sintaxis de un lenguaje formal. De modo que aquí la sintaxis no es secundaria y, entonces, el enfoque enfrenta la siguiente dificultad: intuitivamente, como en la práctica científica, es claro que podemos tener distintas formulaciones de una misma teoría, es decir, podemos presentar una misma teoría mediante lenguajes diferentes; pero esta situación no queda explicada por el enfoque sintáctico sino que este implica todo lo contrario, pues el tener dos formulaciones distintas equivale a tener dos sintaxis, dos lenguajes distintos, lo cual equivale a tener dos teorías diferentes. En definitiva, para la concepción sintáctica cambios en los enunciados (en el lenguaje) de una teoría implica un cambio de teoría.

Veamos esto más en detalle a través de una ilustración que establece un paralelo entre lenguaje y teoría. La palabra en español *conejo* y la palabra en inglés *rabbit*, son dos palabras distintas, dos entidades lingüísticas, que refieren al mismo tipo de objeto físico, un conejo. Por otra parte, y en términos seme-

Periodo contemporáneo (1960-): Concepción semanticista o modelista

Este enfoque surge como una alternativa al enfoque sintáctico (o concepción heredada o enfoque sintáctico-axiomático o concepción enunciativa o enfoque lingüístico) de las teorías, y veremos que su novedad radica en convertir el aspecto lingüístico de las teorías en un elemento secundario y hacer de los modelos descritos por las leyes foco de atención de una teoría. El eslogan que mejor expresa la esencia de esta concepción es: "Las teorías científicas quedan mejor comprendidas como conjuntos de modelos, en el sentido matemático abstracto, que como conjunto de enunciados". Las fuentes en las que bebió esta concepción, para llegar a consolidarse, fueron: estudio de los fundamentos de la mecánica cuántica (John von Neumann y Evert W. Beth); teoría de modelos o semántica formal

2 Este asunto lo trato en Guerrero: 2003.

jantes, tenemos que la mecánica newtoniana se puede presentar en términos algebraicos o en términos diferenciales, lo cual equivaldría a tener dos formulaciones (distintas, que serían entidades lingüísticas) de la misma teoría; con lo cual, tenemos que concluir que es un error identificar la teoría con la formulación lingüística. La pregunta que surge es, entonces, ¿con qué identificar la teoría? Siguiendo el paralelo establecido, la teoría debería ser algo equivalente a la entidad física *conejo*; pero desde luego que una teoría no la podemos identificar con un objeto físico, así que más bien sería equivalente a un objeto abstracto, y los objetos abstractos por excelencia son los objetos matemáticos y las estructuras matemáticas, los modelos, son las que sobresalen entre éstos. Así que por esta vía hemos de admitir que una teoría es un conjunto de estructuras matemáticas abstractas, de idealizaciones. En síntesis, a la pregunta ¿qué tipo de entidad es una teoría?, los empiristas lógicos contestarían que es una entidad lingüística, un conjunto de enunciados, mientras que los semanticistas dirían que es una entidad abstracta, un conjunto de modelos.

Subrayemos dos ideas importantes aquí, con las palabras de van Fraassen (1980: 66): por una parte, “presentar [...] una teoría por medio de la identificación de una clase de estructuras como sus modelos” y, por la otra, “El lenguaje utilizado para expresar la teoría no es único ni básico; la misma clase de estructuras podría muy bien describirse de maneras radicalmente distintas, cada una con sus limitaciones propias. Los modelos son el centro de atención”. En otras palabras, en el enfoque semanticista, de acuerdo con el criterio de identificación, una teoría hay que identificarla con un conjunto de modelos, estructuras matemáticas; y, de acuerdo con el criterio metodológico³, una teoría queda

3 Las expresiones *criterio de identificación* y *criterio metodológico* las retomo de Thomson-Jones (2006).

mejor comprendida como un conjunto de modelos, es decir, como el conjunto de modelos caracterizados o identificados a través de las leyes o principios de la teoría. A esta concepción se le califica de *semanticista* debido a que enfatiza en los modelos y a que en la semántica formal o teoría de modelos la noción de modelo es una noción semántica. A manera de ilustración, en la presentación de la mecánica newtoniana el énfasis no hay que hacerlo en sus leyes ni en la supuesta descripción que estas leyes hacen de (parte de) la realidad, sino más bien en los modelos (o sistemas idealizados) que estas (las leyes o principios) describen, caracterizan o definen; modelos como el siguiente: un conjunto de partículas puntuales con masa que interactúan entre sí mediante fuerzas de diversos tipos, de modo que éstas interacciones se dan de acuerdo con las leyes de Newton.

Pasemos ahora a la crítica de que las relaciones sintácticas son limitadas para representar algunas relaciones entre teorías científicas. Por ejemplo, la relación de subsunción de una estructura (un modelo) en otra no se puede expresar en términos sintácticos, aunque es factible encontrar que una teoría (o parte de una teoría) T_1 se subsuma en otra teoría (o parte de una teoría⁴) T_2 . Recordemos que la operación por excelencia de la sintaxis es la derivación entre enunciados. Dadas las estructuras E_1 y E_2 , decimos que E_2 subsume a E_1 si E_1 es isomorfa con alguna subestructura de E_2 . Pensemos en el espacio euclideo de la mecánica de Newton (T_1) y en un espacio curvo semejante al que establece la teoría general de la relatividad (T_2), es claro que para distancias relativamente pequeñas T_2 subsume a T_1 . Este tipo de relaciones semánticas es imposible expresarlas en términos sintácticos. Otro caso interesante, pero problemático, es la relación de inconmensurabilidad entre teorías sucesivas planteada por Kuhn,

4 Para el tema de partes de teoría, véase Cordero: 2013.

la cual establece que no hay ningún tipo de continuidad entre teorías inconmensurables. Kuhn presentó dicha relación en términos sintácticos, pero uno podría pensar que los aspectos de continuidad entre teorías sucesivas sólo pueden expresarse en términos semánticos, como muestra el ejemplo anterior sobre el espacio.

La noción de modelo involucrada

De acuerdo con la perspectiva que aquí se defiende sobre el enfoque semanticista, recogida principalmente de van Fraassen y Giere, el término *modelo* tiene dos funciones: en un caso se presenta como una estructura que *satisface* una descripción y en el otro como una estructura matemática que *representa* aspectos de ciertos sistemas reales. Así, el término *modelo* posee dos sentidos, pero la función relevante de los modelos desde el enfoque semántico es la de *representación* y no la de *satisfacción* (véase Thomson-Jones: 2006 y Guerrero: 2010). Además, como veremos, ninguno de estos dos sentidos coincide con el de la noción de modelo de la teoría de modelos, aunque hay una tendencia generalizada a identificarlos. De modo que aquí hay que darle la razón a Bunge (2001, p. 209) cuando insiste en que “la palabra modelo no significa lo mismo en lógica y matemáticas que en las ciencias fácticas y en las tecnológicas. En matemáticas... todo modelo lo es de una teoría abstracta (no interpretada)... En cambio, en las ciencias fácticas y las tecnológicas, un modelo teórico es una teoría de cosas concretas de una clase restringida, tal como la clase de los átomos de helio o la colección de los supermercados”. Para una mejor comprensión del tema, veamos lo que es modelo semántico, modelo ajustado a descripciones, modelo representacional y modelo teórico.

La siguiente ilustración permite aclarar la noción de estructura (o sistema) y precisar la noción de modelo en el sentido de la lógi-

ca-matemática, que aquí llamaremos *modelo semántico*. Supongamos los siguientes tres enunciados desinterpretados: “ $a R b$ ”, “ $b R c$ ” y “ $a \sim R c$ ”. Ahora podemos interpretar los símbolos del siguiente modo: a , b y c refieren a personas (en un caso) o a vehículos (en otro caso), y R es la relación “estar en contacto con”, de modo que $\sim R$ es la relación “no estar en contacto con”. Pues bien, una fila formada por tres personas unidas y otra por tres vehículos unidos serían dos modelos del conjunto de enunciados; en otras palabras, los dos sistemas de filas son dos estructuras distintas que *satisfacen*, hacen verdaderos, los tres enunciados iniciales. Obsérvese que hay infinitas interpretaciones posibles de los enunciados y, por tanto, modelos de los mismos.

En términos técnicos, una estructura (o sistema) \mathcal{A} es una entidad abstracta compleja, compuesta por un conjunto no vacío A –llamado universo de la estructura– y una serie de individuos a , de funciones f y de relaciones R –definidas sobre el universo– destacados o considerados. Lo cual expresamos del siguiente modo:

$$\mathcal{A} = \langle A, \langle a_1, \dots, a_i \rangle, \langle f_1, \dots, f_j \rangle, \langle R_1, \dots, R_k \rangle \rangle.$$

En el ejemplo anterior, tenemos que las tres personas (individuos de la estructura) tomadas de la mano, una detrás de otra, (la relación entre los individuos) representan una estructura.

Ahora bien, en términos técnicos, diremos que la estructura A es un modelo (semántico) de un conjunto de enunciados si los enunciados son verdaderos en la estructura. En nuestro ejemplo, como la estructura de las tres personas en fila satisface, hace verdaderos, a los tres enunciados mencionados; concluimos que dicha estructura es un modelo de los tres enunciados.

Ahora bien, en cuanto a los modelos de la ciencia, que no son modelos semánticos como a continuación veremos, los llamare-

mos *modelos teóricos*, siguiendo a Giere: 1988 y 1999. De manera más precisa, calificaremos de modelos teóricos a los modelos descritos por las teorías de principios (principios físico-matemáticos), esto es a las teorías que contienen leyes o principios teóricos, tales como las leyes de Newton, la ecuación de Schrödinger, el principio de relatividad, el principio de selección natural y las leyes de la genética mendeliana; en el sentido que dichos modelos teóricos son estructuras matemáticas que son utilizadas por los científicos para *representar* aspectos del dominio de investigación de su interés. Así, estos modelos no lo son en el sentido lógico-matemático, sino en otros dos sentidos, el de ajustarse a una descripción y el de representar.

Veamos el caso del péndulo simple⁵ para ilustrar este punto y, además, la función primera que tienen las leyes en una teoría. Decimos que sistemas reales tales como el balanceo de la lámpara de una catedral o la de nuestra casa tienen un movimiento pendular simple, y éste tipo de movimientos son analizados por los físicos mediante lo que ellos llaman la ecuación del péndulo: $T = 2\sqrt{L/g}$. De manera sintética, diremos que la teoría del péndulo simple está conformada, principalmente, por dicha ley y, bajo el enfoque semanticista, que dicha teoría contiene un conjunto de modelos teóricos.

Pues bien, en primer lugar, debemos notar que la ecuación del péndulo simple no es una expresión desinterpretada como las expresiones de arriba, "*a R b*", "*b R c*" y "*a ~R c*". No lo es porque para los físicos es claro que **T** representa el periodo del péndulo, **L** la longitud del péndulo y **g** la aceleración de la gravedad. Luego, para comenzar, es claro que aquí no nos encontramos ante un modelo semántico.

Pero siendo esto así, dicha ecuación, tal y como la emplean los físicos, permite describir

.....
 5 El ejemplo se recoge, en líneas generales, de Giere: 1999.

sistemas idealizados con el propósito de ver si éstos se ajustan en algunos aspectos a *sistemas reales* como la lámpara de una catedral. Que se trata de una idealización, los físicos lo dejan ver al plantear que la ecuación se aplica a sistemas reales que cumplan, de manera aproximada, condiciones tales como: ángulo de oscilación pequeño; fuerza gravitacional uniforme; ausencia de fuerzas gravitacionales distintas a la de la Tierra; ausencia de fuerza de fricción en el punto de articulación de la cuerda; resistencia nula del aire sobre la pesa del péndulo; etc.

En otras palabras, podemos pensar en sistemas ideales que cumplen, satisfacen, la ecuación de manera absoluta o, en otras palabras, sistemas que son una descripción literalmente verdadera de dicha ecuación: un péndulo A con una cuerda, sin peso e inextensa, de longitud L_1 ; con una pesa inextensa de masa m_1 , sobre la que sólo actúa la fuerza gravitacional terrestre (g), siempre de manera igual, independientemente de la trayectoria semicircular de la pesa; sin ningún tipo de fricción y resistencia sobre sus partes; etc. Este péndulo A es una estructura que satisface, en sentido estricto, la ley del péndulo simple; así, el péndulo A es un *modelo (teórico)* de la ley. Pero, como ya habíamos notado, no es un modelo en el sentido semántico. Diremos que el modelo (teórico) lo es en el sentido que *se ajusta a la descripción* dada por la ley del péndulo, véase la Fig. 3. Obsérvese, además, que cambiando L o m o g tendremos distintos sistemas ideales (modelos teóricos) de la ley del péndulo. Así, es obvio que las leyes son verdaderas en (son satisfechas por) las idealizaciones o modelos teóricos, pues estos últimos surgen a partir de las descripciones de las primeras. De ahí el sentido de la afirmación de que una teoría sea un conjunto de modelos.

Precisemos más esta idea mediante la mecánica newtoniana. Esta no puede reducirse estrictamente a las tres leyes de Newton,



pues a partir de ellas no se sigue nada de mayor interés. Es por ello que en los libros de texto, después de enunciar las tres leyes se pasa a presentar las distintas formas de la función fuerza (las funciones fuerza o tipos de fuerzas), o por lo menos las más importantes. Se comienza, entonces, por clasificar los movimientos de acuerdo a sus dimensiones en unidimensional, bidimensional y tridimensional. A continuación se especifican los tipos de fuerza en cada uno de ellos; así, por ejemplo, en el movimiento en una dimensión se tienen fuerzas uniformes (ley de caída libre), fuerzas en función de la posición (ley de Hooke), fuerzas en función de la posición y la velocidad, y fuerzas en función de la posición, la velocidad y el tiempo (como el oscilador armónico amortiguado). En el movimiento de dos o tres dimensiones se tienen, por ejemplo, las fuerzas centrales inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, véase la Fig. 2.

Como puede observarse, cada tipo de fuerza define un tipo de modelo y los distintos grupos de modelos están relacionados por la segunda ley de Newton. En definitiva, la mecánica newtoniana es un conjunto de conjuntos de modelos. Cada modelo es un sistema idealizado, abstracto, que tiene todas y únicamente las propiedades que se le adscriben a través de las leyes. Por ejemplo, el oscilador armónico simple es una *entidad abstracta* cuya característica distintiva es que satisface la ley $f=-kx$, de modo que dicha entidad o sistema se ajusta a la descripción de la correspondiente ley.

De lo anterior se concluye la siguiente idea importante, véase la relación de la izquierda en la Fig. 3: ante todo, las leyes o principios de una teoría son definiciones de, o formas de caracterizar, los modelos teóri-

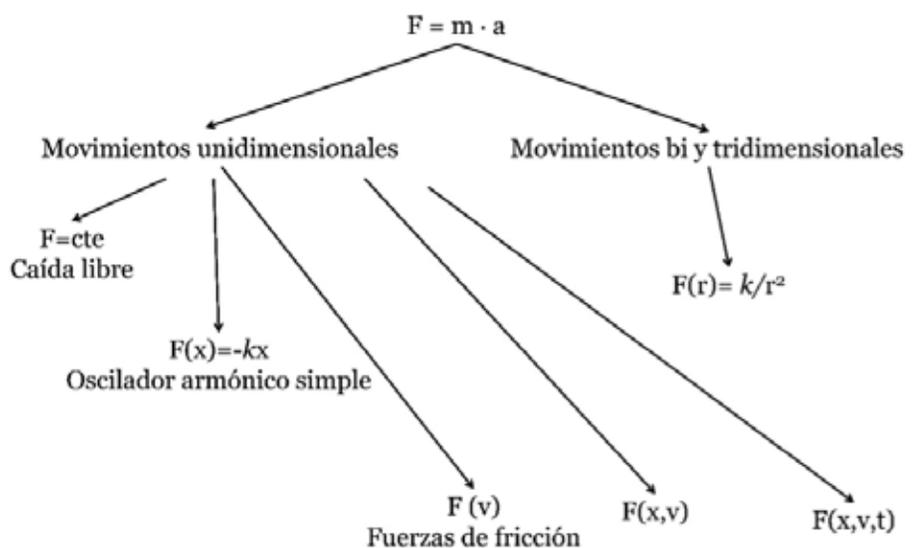


Figura 2. Diferentes tipos de modelos teóricos de la mecánica newtoniana

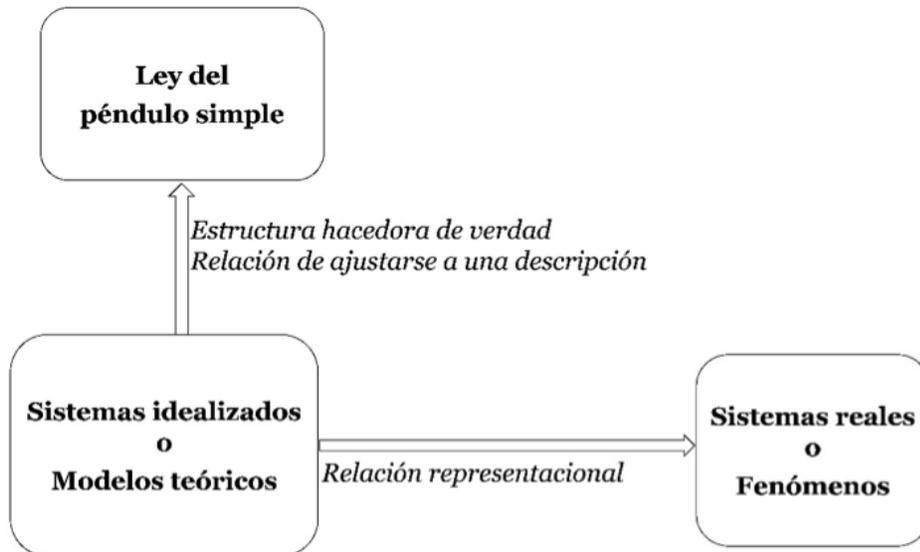


Figura 3. Relaciones que guarda un modelo teórico con las leyes y los sistemas reales

cos, antes que descripciones directas o indirectas del mundo natural. Por tanto, hemos de concluir que en un primer momento las leyes no son propiamente leyes de la naturaleza sino de la teoría. Las leyes funcionan como definiciones de los modelos teóricos porque a través de ellas quedan descritos los distintos sistemas idealizados (modelos) de la teoría, los distintos aspectos de un modelo teórico.

El problema que se presenta ahora es, entonces: ¿cómo se relacionan las leyes con los sistemas reales? Este punto tiene que ver con el carácter representacional de los modelos teóricos, en donde considero radica la principal novedad del enfoque semanticista; pues la función de los modelos teóricos es representar algunos aspectos de la realidad natural con algún grado (véase la relación inferior de la Fig. 3). Además, este carácter representacional de los modelos teóricos o teorías está presente en las hipótesis teóricas que establecen los científicos para vincular las teorías con la realidad natural. Por tanto, lo primero que hay que decir al respecto es que la relación entre leyes y mundo es indirecta al estar mediada por los modelos teóricos, tal y como se puede apreciar en la Fig. 3. En segundo lugar, los modelos teóricos se vinculan con la realidad natural a través de *hipótesis teóricas* (véase Fig. 4), que son propuestas o conjeturas por los científicos. En términos generales, una hipótesis teórica afirma que determinado sistema real se aproxima en algún grado a uno de los modelos descrito por la teoría.

En este punto cabe establecer el siguiente contraste importante entre los enfoques lingüístico y semántico respecto a la relación teoría-mundo, tal y como se muestra en la Fig. 4: mientras que en el pri-



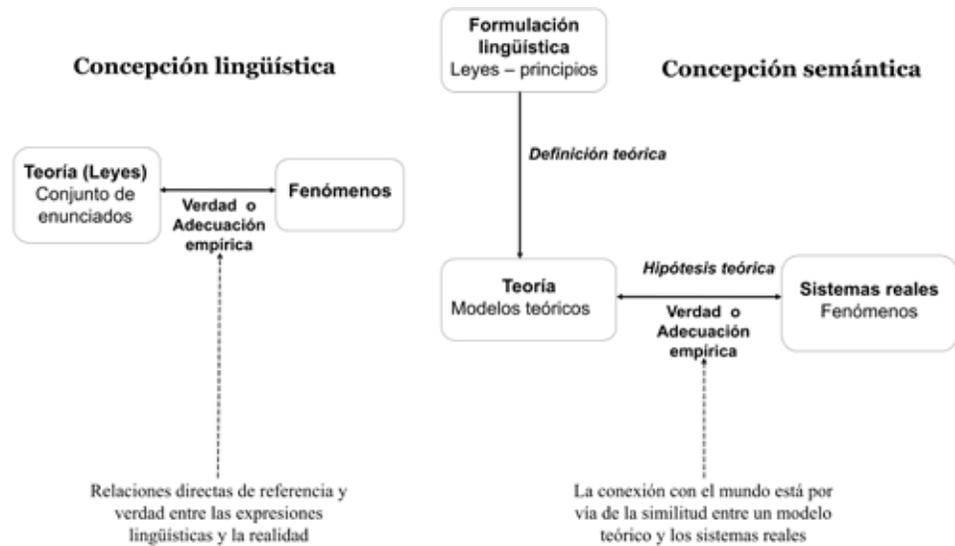


Figura 4. Relación representacional entre teoría y realidad.

mer enfoque dicha relación es directa, en el segundo la relación está mediada por los modelos teóricos y éstos últimos se relacionan con el mundo a través de hipótesis teóricas.

Concepciones lingüística y semántica.

Elementos de una teoría

A partir de lo anterior, es claro que los elementos involucrados en la presentación de una teoría son cuatro: la *formulación lingüística*, los *modelos teóricos o idealizaciones*, los *sistemas reales o fenómenos* y las *hipótesis teóricas*. Estos distintos elementos de una teoría son evidentes en la siguiente definición de van Fraassen (1989: 226): “Presentar una teoría es definir un cierto tipo (o varios tipos) de sistemas más una o más hipótesis acerca de la relación de ciertos (tipos de) sistemas reales con la(s) clase(s) definida(s). Hablamos entonces de la definición teórica y de las hipótesis teóricas que conjuntamente constituyen la formulación de la teoría dada”.

En el caso del péndulo simple, que venimos estudiando, se tiene que la formulación lingüística es la ecuación (o ley) del péndulo simple; los modelos teóricos equivaldrían a los distintos tipos de péndulo idealizados que cumplen dicha ley, los cuales se obtienen variando ya sea la longitud, la masa, la gravedad o cualquier otra variable relevante para el caso; el movimiento de la lámpara de una catedral o del farol de la casa serían sistemas reales a los cuales se aplica la teoría; finalmente, una hipótesis teórica podría ser que el movimiento de la lámpara de la cate-

dral (del farol) es relativamente aproximado al movimiento del péndulo simple (idealizado).

Veamos un ejemplo más, uno con la mecánica newtoniana. Un sistema mecánico newtoniano sería aquel que cumple las leyes de Newton, éste sería un modelo (teórico) de la teoría newtoniana. Como fenómenos o sistemas reales podríamos considerar el sistema solar (el Sol con los distintos planetas) o una piedra cayendo en la Tierra (el sistema Tierra-piedra). Finalmente, ejemplos de hipótesis teóricas podrían ser: nuestro sistema solar es aproximado a uno de estos sistemas mecánicos definidos o la caída de la piedra sobre la Tierra es aproximada a uno de los sistemas mecánicos definidos, esto es, cumple aproximadamente las leyes de la mecánica newtoniana.

Aquí cabe hacer dos puntualizaciones, con las palabras de Giere (1988): “la idealización y la aproximación son aspectos determinantes de la ciencia empírica”. Una actividad importante de la ciencia es la de proponer idealizaciones o modelos, que se hacen mucho más precisos y exigentes cuando son descritos mediante ecuaciones matemáticas, las cuales pretenden adquirir el estatus de leyes de la naturaleza. Otro aspecto clave en la actividad científica es la búsqueda de aproximación, en aspectos y grados, más que la precisión en sentido absoluto. En el caso del péndulo simple, sería absurdo identificar el objetivo de los científicos con la consecución de una única ecuación matemática que recogiese el movimiento de la lámpara de la catedral en todos sus múltiples detalles. Una ecuación de ese tipo tendría una forma supremamente compleja que superaría las limitaciones de conocimiento y energía del hombre. Además, aunque podríamos pensar que en principio es posible formular leyes con ese grado de complejidad, éstas no tendrían ninguna funcionalidad puesto que para efectos prácticos es irrelevante la verdad exacta y literal sobre el movimiento pendular de ciertos objetos rea-

les o cualquier otro fenómeno. Es suficiente con tener un conocimiento aproximado de los mismos; aproximado en cuanto no se tienen en cuenta todos los aspectos del fenómeno y no se pide una coincidencia absoluta para cada uno de los aspectos. Nuevamente, la ley del péndulo simple sólo tiene en cuenta aspectos relevantes como periodo, longitud, gravedad y masa; y concluye, entre otras cosas, que este movimiento es independiente de la masa. Ahora bien, uno puede comprobar que el periodo de oscilación de los movimientos pendulares reales, como el de la lámpara de la catedral, es independiente de la masa que pende, en términos generales; y esto último quiere advertir que es de manera aproximada.

Por último, subrayar que el enfoque semántico de las teorías científicas es ante todo un *enfoque representacional de los modelos*, en el que: los modelos son una herramienta para representar la realidad, de manera parcial y no por completo, de manera aproximada y no fielmente, y con un *carácter pragmático* y no absoluto. El aspecto pragmático subraya la importancia que tienen los usuarios, los científicos, en dicha función representacional. Esto es, los modelos usados para representar la naturaleza son usados por nosotros de cierta manera, entre muchas otras posibles, de tal forma que el modo vigente es muy importante, pues es el que fija la relación relevante entre modelo y naturaleza; y, además, esa relación relevante es la que hay que tener en cuenta en el momento de valorar y aplicar una teoría.

A manera de conclusión

Para finalizar, es importante abordar las implicaciones directas para la enseñanza de las ciencias naturales que podemos extraer de la exposición anterior, con el propósito de que sean tenidas en cuenta por el profesor en las actividades, exposiciones y reflexio-

nes que involucre en el proceso enseñanza – aprendizaje. Por cuestión de espacio, no es posible hacer una justificación profunda y sistemática de cada una de las ideas que a continuación se presentan, que han sido objeto de estudio y análisis juicioso en el campo de la enseñanza de las ciencias. De modo que aquí solo se pretende que estas ideas queden parcialmente justificadas a partir de la exposición anterior.

La importancia de las teorías en la dinámica científica. Considero que las teorías representan un momento importante del conocimiento y de la creación científica, ya que es su forma más acabada, con un carácter sistemático. La sistematicidad y unidad del conocimiento científico queda mejor representada por las teorías que por los conceptos, por ejemplo, ya que una teoría presupone un sistema de conceptos. En otras palabras, la unidad básica del conocimiento científico es la teoría, más que los conceptos. Esto llevado al campo de la enseñanza de las ciencias naturales, nos indica que hemos de privilegiar la comprensión, por parte de los estudiantes, de teorías o sistemas de conceptos, y su evolución o desarrollo, más que la de conceptos, considerados en forma aislada.

Las teorías científicas como constructos científicos. La ciencia, más que un proceso de descubriendo, es uno de creación, de construcción: es un proceso de construcción conceptual que permite descubrir ciertos aspectos del mundo. Las teorías, como redes conceptuales, no son inducidas a partir de la realidad, sino que son constructos teóricos resultado de un arduo trabajo observacional, experimental y teórico; y, en este sentido, son creaciones humanas que permiten conocer la realidad. Sin la mediación de tales constructos humanos, no es posible hablar de realidad natural.

Las teorías científicas como modelos de la realidad. Lo usual es entender las teorías científicas como un conjunto de enunciados

que describen la realidad natural. Adicionalmente, este conjunto de enunciados es posible deducirlo de unos pocos enunciados, dos o más, conocidos como principios o leyes de la teoría. Pues bien, la propuesta es que en la enseñanza de las ciencias se desarrolle la idea de que la ciencia es una actividad de modelización de la realidad natural, más que describirla. Este carácter modelizador de la ciencia refleja bien su aspecto constructivo, subrayado arriba. En otras palabras, una teoría científica hay que entenderla como un conjunto de modelos que proporcionan conocimiento de la realidad natural. La función de los principios o leyes de una teoría es describir modelos (teóricos), esto es, las relaciones que se pueden establecer entre las entidades propuestas por la teoría, para después establecer su grado de adecuación con la realidad.

Los elementos básicos de una teoría científica. Más aún, parece que es insuficiente restringir las teorías a conjuntos de modelos (teóricos), pues, como veíamos arriba, son cuatro los elementos necesarios involucrados en una teoría: la *formulación lingüística*, los *modelos teóricos o idealizaciones*, los *sistemas reales o fenómenos* y las *hipótesis teóricas*. Que en el ejemplo del péndulo simple equivalen a, respectivamente: la ecuación (o ley) del péndulo simple; los distintos tipos de péndulo idealizados que cumplen dicha ley; el movimiento de la lámpara de una catedral; y, por ejemplo, “que el movimiento de la lámpara de la catedral es relativamente aproximado al movimiento del péndulo simple (idealizado)”.

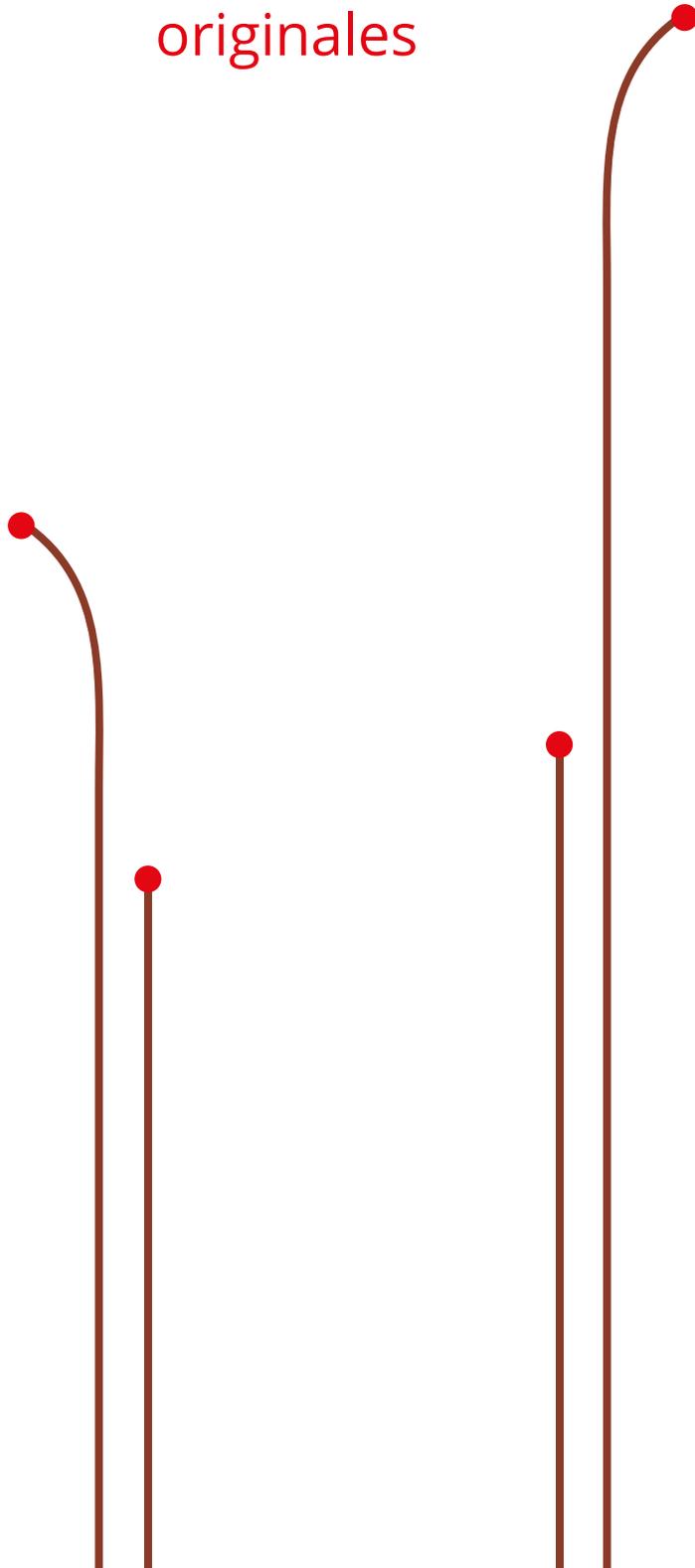
Referencias Bibliográficas

- Bunge, M. (2001): *Philosophy in Crisis: The Need for Reconstruction*, New York, Prometheus Books.
- Carnap, R. (1939): *Foundations of Logic and Mathematics*, Chicago, University of Chicago Press.

- Carnap, R. (1963): Intellectual Autobiography. En: Schilpp, P. A. (ed.). *The Philosophy of Rudolf Carnap*, La Salle, Open Court, 3-84.
- Cordero, A. (2013): Naturalism and Scientific Realism. En: J.I. Galparsoro & A. Cordero (eds.). *Reflections on Naturalism*, Boston, Sense Publishers, 61-84.
- Giere, R. (1999): Using Models to Represent Reality. En: Magnani, L. et al. (ed.). *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*, New York/Dordrecht, Kluwer, 41-57.
- Giere, R. (1988): *Explaining Science. The Cognitive Approach*, Chicago, University of Chicago Press.
- Guerrero, G. (2012): Datos, fenómenos y teorías, *Revista Estudios de Filosofía*, No. 45, Instituto de Filosofía, Universidad de Antioquia, Medellín, 9-32.
- Guerrero, G. (2010) La noción de modelo en el enfoque semántico de las teorías, *Praxis Filosófica*, No. 31, Julio-Diciembre, pp. 169-185.
- Guerrero, G. (2009): *Introducción a la filosofía de la ciencia. Documentos de trabajo*, 3° ed., Cali, Programa Editorial Universidad del Valle.
- Guerrero, G. (2005): *Enfoque semántico de las teorías. Estructuralismo y Espacio de estados: coincidencias y divergencias*, Madrid, Servicio de Publicaciones Universidad Complutense de Madrid.
- Guerrero, G. (2003): *Estudios Kuhnianos*, Cali, Unidad de Artes Gráficas, Facultad de Humanidades.
- Hodson, D. (2008): *Towards Scientific Literacy: A Teachers' Guide to the History, Philosophy and Sociology of Science*, Rotterdam, Sense Publishers.
- Hodson, D. (2009): *Teaching and Learning about Science: Language, Theories, Methods, History, Traditions and Values*, Rotterdam, Sense Publishers.
- Hodson, D. (2011): *Looking to the Future. Building a Curriculum for Social Activism*, Rotterdam, Sense Publishers.
- Michael, M. (2012): "Changing the Focus: From Nature of Science (NOS) to Features of Science (FOS)". En: Myint Swe Khine (Ed.), *Advances in Nature of Science Research. Concepts and Methodologies*, New York, Springer.
- Thomson-Jones, M. (2006): Models and the Semantic View, *Philosophy of Science*, 73, 524-535.
- Van Fraassen, B. C. (1989): *Laws and Symmetry*, Oxford, Clarendon Press.
- Van Fraassen, B. C. (1980): *The Scientific Image*, Oxford, Clarendon Press; v.e. *La imagen científica*, México, Paidós-UNAM, 1996.



Traducción de
originales









El astrónomo de Jan Vermeer Van Delft (1668).

Calor específico, calor latente, del vapor y la vaporización

Tomado de: W. F. Magie. A Source book in physics. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts. 1969.

J.Francisco Malagón y M.M. Ayala
Traductores





Introducción de los traductores

Con el auge alcanzado en las últimas décadas por la perspectiva constructivista del conocimiento, nuevas demandas han surgido para los maestros de ciencias; en particular se les ha venido exigiendo cambiar el eje de su trabajo: de la transmisión y uso de los saberes en la resolución de ejercicios de diversa índole hacia la generación de condiciones y planteamiento de situaciones que privilegien y dinamicen un papel cada vez más activo de parte de maestros y estudiantes frente a los saberes científicos abordados en el aula.

Pero ¿de qué disponen los maestros para avanzar en este propósito? Los textos o manuales de enseñanza han sido tradicionalmente el soporte principal del trabajo del maestro, por considerárseles el medio “oficial” de circulación del conocimiento científico en el ámbito escolar. Los textos buscan informar de la manera más eficiente sobre el corpus de conceptos, leyes, teorías que se considera conforman la ciencia o un área particular de la misma. La cantidad y actualización de la información contenida son medida de su eficiencia; pero también lo es la asequibilidad de la misma (la adecuación para el nivel al que está dirigida), sin perder por ello su rigor; exigencias éstas muy difíciles de cumplir debido a la oposición que parece existir entre estas demandas.

Dado su propósito de resumir y de difundir los resultados de la actividad científica, los textos paralelamente terminan divulgando de manera implícita una concepción objetivante, aproblemática y deshumanizante de la ciencia. En esa ciencia que se adivina en la mayoría de los textos, no hay preguntas sólo hay respuestas, no hay puntos de vista, no hay compromisos. Lo científico es identificado con lo verdadero y pensado, por ende, como lo opuesto a lo subjetivo; la ciencia es considerada como aquello que aparece en los textos.

Al respecto Thomas Kuhn señala que el sistema de enseñanza a través de libros de texto comporta ciertos dogmatismos de base. Pareciera que para dominar el paradigma, así como para socializarlo en una cultura, fuera necesario, en un primer momento, deponer la crítica. Se considera que los conceptos y los principios no han de discutirse; han de aceptarse y de hacerse operativos. Sólo cuando se ha logrado un dominio de todo el sistema, es posible comenzar a pensarlos críticamente. (GRANES, 1997)

Entonces, mientras que el contacto con las ciencias sólo se haga a través de los textos de enseñanza muy difícilmente se podrá hacer algo diferente de lo que normalmente se hace, así como cambiar la relación de exterioridad que usualmente se mantiene con el conocimiento científico. Sin embargo, cuando se tiene la posibilidad de acceder a las fuentes originales, a los textos de los pensadores que han contribuido a generar y consolidar lo que llamamos ciencia, se tiene otro tipo de acercamiento a la ciencia. Con textos como éstos, que no tienen el carácter afirmativo de aquellos que suelen circular en el medio escolar, en donde cabe la pregunta, los argumentos y el debate de ideas, emergen las inquietudes, las preguntas, los puntos de vista y los contextos de significación. El rigor de la ciencia adquiere una nueva dimensión: la rigurosidad de la construcción que da el sentido, un rigor unido al compromiso, donde la necesidad y los límites de validez se hacen visibles. Lo relevante y lo pertinente son criterios que entran en juego en el análisis de lo científico.

Contribuir a generar las condiciones para tal acceso a la ciencia, es el propósito de esta traducción libre del texto en inglés de Joseph Black que aparece en el libro conformado por la selección hecha por W. F. MAGIE *A Source book in physics* (Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, 1969). Joseph Black (1728-1799) fue un físico y profesor de química en Glasgow y Edimburgo. Es

conocido por su descubrimiento del dióxido de carbono, de los bicarbonatos y el calor latente. Vivió y desarrolló su trabajo en el contexto de la ilustración escocesa. Publicó muy pocas cosas durante su vida, pero presentaba sus trabajos y descubrimientos en sus conferencias. Los siguientes extractos fueron tomados de sus conferencias sobre los Elementos de Química, publicadas después de su muerte, en 1803, contienen una síntesis de sus descubrimientos sobre el calor específico y el calor latente.

Este texto adquiere especial relevancia en el contexto pedagógico por dos razones principales: una, en este texto se expone una de las primeras organizaciones del fenómeno térmico donde los conceptos de calor y la temperatura se están gestando; conceptos que se asumen generalmente como el punto de partida para abordar este fenómeno en el aula; dos, los fenómenos térmicos constituyen un ámbito del cual se puede decir que todo individuo tiene un gran conocimiento práctico que le permite enfrentar con éxito los diversos retos de la vida cotidiana en este campo ¿cómo vincular este conocimiento valioso con el saber que se pretende trabajar en el aula? Sin duda alguna el modo de exposición que se encuentra en este texto le permitirá al maestro formar nuevos criterios para orientar su labor en el aula en torno a este campo fenoménico, en particular, y a las ciencias en general.

Calor específico

Un segundo avance en nuestro conocimiento sobre el calor fue obtenido haciendo uso de los termómetros. Ahora tenemos una idea más clara, que en la antigüedad, de la forma como el calor se distribuye entre diferentes cuerpos.

Recordemos que antiguamente, y sin la ayuda de termómetros, podíamos percibir una tendencia del calor a difundirse él mismo

de cualquier cuerpo más caliente a otro más frío hasta que se distribuía entre ambos, de tal forma que ninguno de los dos estaba en disposición de tomar más calor que el resto de los otros. El calor era así llevado a un estado de equilibrio; equilibrio que es en alguna forma curiosa.

Nosotros encontramos que cuando todas las acciones mutuas terminaban, un termómetro aplicado a cualquiera de los cuerpos, adquiriría el mismo grado de expansión, es decir, la temperatura de todos ellos era la misma y el equilibrio era universal. No podríamos prever esto a partir de la peculiar relación del calor en cada cuerpo, este descubrimiento se lo debemos enteramente al termómetro.

Nosotros debemos entonces adoptar como una de las leyes más generales del calor que todos los cuerpos en contacto libremente unos con otros y expuestos no desigualmente a acciones externas, adquieren la misma temperatura, como lo indica el termómetro. Todos adquieren la temperatura del medio ambiente

Haciendo uso de estos instrumentos, nosotros aprendimos que si tomamos 1000 o más diferentes clases de sustancias o materiales, tales como metales, piedras, sales, maderas, cuerpos, lanas y otras variedades de fluidos, aunque inicialmente todos ellos tengan diferentes calores; si ellos son colocados, en el mismo cuarto, juntos, sin un fuego, y si el sol no puede penetrar en ese cuarto, el calor es comunicado de los cuerpos más calientes a los más fríos, proceso que puede durar unas horas y hasta un día o más. Si al final de ese tiempo, aplicamos el termómetro a todos ellos en sucesión, todos marcan el mismo grado.

El calor entonces, se distribuye él mismo, hasta este momento, o sea, hasta que ningún cuerpo tenga una mayor demanda o atracción que cualquier otro de ellos; en consecuencia de lo cual, cuando nosotros aplicamos un

termómetro a todos ellos en sucesión, después del primer cuerpo al cual se aplica y que reduce el instrumento a su propia temperatura, ninguno de los otros está en disposición de aumentar o disminuir la cantidad de calor que el primero dejó indicada en él.

Esto es lo que comúnmente es llamado un igual calor o la igualdad de calor entre diferentes cuerpos. La naturaleza de este equilibrio todavía no había sido entendida a hasta que yo encontré el método de investigarla.

El Dr. Boerhaave imaginaba que cuando lo obteníamos había una cantidad igual de calor en cualquier medida del espacio, aunque estuviera ocupado por diferentes cuerpos, y el profesor Muschenbroeck expresa su opinión en este mismo sentido: "Est enim ignis aequaliter per omnia, nom admodum magna, distributus, ita ut in pede cubico aurio et aeris et plumarum, par ignis fit quantitas". La razón que ellos dan para esta opinión es, que, para cualquiera de estos cuerpos el termómetro marca lo mismo.

Pero esto es tomando un punto de vista equivocado (apresurado) del problema. Esto es, confundiendo la cantidad de calor en diferentes cuerpos con su fuerza o intensidad. Pienso que en este caso esas son cosas muy diferentes y deben siempre ser distinguidas, cuando pensamos en la distribución del calor.

Antiguamente era muy común la suposición de que la cantidad de calor requerida para incrementar el calor en diferentes cuerpos el mismo número de grados, era directamente proporcional a la cantidad de materia de cada uno; y sin embargo, cuando los cuerpos eran de igual tamaño, las cantidades de calor estaban en proporción a su densidad. Pero rápidamente después de que empecé a pensar sobre esta materia (año 1760) me di cuenta que esta opinión era errónea, y que las cantidades de calor que las diferentes clases de materia deben recibir para alcanzar el equilibrio con otros o elevar su temperatura en

igual número de grados no está en proporción a la cantidad de materia de cada uno, sino en proporción muy diferente de esta. Para lo cual no he encontrado ninguna razón o principio.

Me parece apropiado consultar sobre esta materia el "Comment de Rebus in Medicina Gestis, Vol. 21 y Vol. 26" que contienen los valiosos experimentos de Jo. Cari Wilcke, extraído de los "Swedish Transactions". También los experimentos del profesor Godoline en la Nova Acta Reg. Societ, Upsolensis, tomo 5.

Esta opinión me fue primero sugerida a mí, por un experimento descrito por el Dr. Boerhaave (Boerhaave Elementa Chemiae, exp. 20 cor. 11); después relacionando el experimento en el cual Fahrenheit expresaba su idea de mezclar agua caliente y fría.

El nos decía a nosotros, que Fahrenheit agitaba juntos mercurio y agua desigualmente calentadas. [De las notas del Doctor] Su idea era que el mercurio aunque es 13 veces más denso que el agua produce menos efecto en el calentamiento o enfriamiento al cuerpo al cual es aplicado, que el que una cantidad igual de agua puede producir. El dijo expresamente que el mercurio, si era aplicado caliente al agua fría o frío al agua caliente, jamás produciría más efecto en el calentamiento o enfriamiento en una medida igual de agua, que el que podría haber sido producido por el agua igualmente caliente o fría con el mercurio, y solo se requiere 2/3 de esta cantidad. El agrega, que solamente era necesario tomar tres medidas de mercurio a dos de agua, para producir la misma temperatura media que se obtendría mezclando iguales cantidades de agua caliente y fría.

Para explicar esta idea con números vamos a suponer que el agua estaba a 100 grados de calor, y que una medida igual de mercurio a 150 grados de calor es repentinamente mezclada y agitada con ella. Sabemos que el promedio de temperatura entre 100 y 150 es

125y sabemos que este valor de promedio se puede obtener mezclando iguales cantidades de agua fría a 100 con igual cantidad de agua caliente a 150. El calor del agua caliente baja 25, mientras que el agua fría es elevada la misma cantidad.

Pero cuando se usa el mercurio en vez de agua caliente, la temperatura de la mezcla llega a ser de 120 únicamente, en lugar de 125. El mercurio entonces es menos caliente en 30 grados, mientras el agua se ha calentado en 20 grados únicamente; y todavía la cantidad de calor que el agua ha ganado es la misma cantidad de calor que el mercurio ha perdido. Esto muestra que la misma cantidad de la materia del calor tiene más efecto en calentar mercurio que en calentar una medida igual de agua, y que sin embargo esa pequeña cantidad de él es suficiente para incrementar el sensible calor del mercurio en el mismo número de grados.

Las mismas cosas aparecen en cualquier forma que variemos el experimento; así por ejemplo, si el agua es la masa más caliente y el mercurio es la menos caliente, con las mismas diferencias de temperatura anteriores, la temperatura producida es 130. El agua en este caso llega a ser menos caliente en 20 grados, mientras su calor perdido fue entregado al mercurio, haciendo que su calor aumentara en 30 grados. Y por último, si tomamos 3 medidas de mercurio por dos de agua, sin saber cual de las dos es más caliente que la otra, la temperatura promedio siempre será de 125, o sea la media entre las dos temperaturas ya mencionadas. Aquí es manifiesto que la misma cantidad de la materia del calor que hace que dos medidas de agua se calienten en 25, es suficiente para hacer que tres medidas de mercurio se calienten en el mismo número de grados. El mercurio por lo tanto .tiene menos capacidad para la materia del calor que la que el agua tiene (si se me permite la expresión). Se requiere una

pequeña cantidad de él (calor) para elevar su temperatura en el mismo número de grados.

La inferencia que el Dr. Boerhaave sacó de este experimento es sorprendente. Observando que el calor no se distribuye entre los diferentes cuerpos en proporción a la cantidad de materia de cada uno, el concluye que es distribuido en proporción al espacio ocupado por cada uno; una conclusión contradicha por muchos de sus experimentos. También Muschenbroeck lo siguió a él en esta opinión. Tan rápidamente como yo entendí este experimento, en la forma como yo lo explique, encontré un notable acuerdo, entre él y algunos experimentos hechos por el Dr. Martín (Essay on the Heating and Cooling of Bodies). Los cuales me parecieron al principio muy sorprendentes y difíciles de escribir, pero al compararlos, no podría explicarlos con el mismo principio.

El Dr. Martín hizo un buen fuego, y a una igual distancia de él colocó una cantidad de agua y una mole igual de mercurio, cada uno de ellos contenido en iguales recipientes de vidrio y colocando además un delicado termómetro en su interior.

El observó entonces cuidadosamente el progreso o celeridad con el cual cada uno de estos fluidos era calentado por el fuego, haciendo subir los termómetros. El encontró por repetidos experimentos, que el mercurio era calentado por el fuego más rápido que el agua, casi el doble de rápido, después de cada experimento, habiendo calentado estos dos fluidos al mismo grado, él colocó entonces una corriente de agua fría y encontró que el mercurio era siempre enfriado mucho más rápido que el agua.

Antes de que estos experimentos fueran hechos, él había supuesto que el mercurio debería requerir calor o frío un tiempo mucho más largo que una cantidad igual de agua, en la proporción de 13 o 14 a 1.

Pero desde el punto de vista que yo he analizado los experimentos de Fahrenheit o Boerhaave con el mercurio y el agua, los anteriores hechos por el Dr. Martín son fácilmente explicables.

Nosotros solo necesitamos suponer que la materia del calor comunicada por el fuego fue comunicada igualmente al mercurio y al agua; pero que como menos de ésta (calor) era requerida para calentar el mercurio que para calentar el agua, el mercurio necesariamente era el que más rápido se calentaba de los dos; y cuando ambos, estando igualmente calentados, se exponían al aire frío para que se enfriaran, el aire tomaba el calor de ellos igualmente rápido, pero el mercurio, por perder la misma cantidad de materia del calor que perdió el agua, era necesariamente enfriado a un mayor grado y entonces llegaba a enfriarse mucho más rápido que el agua.

Estos experimentos del Dr. Martín, por lo tanto, concordaban muy bien con los experimentos de Fahrenheit, mostrando claramente que el mercurio, no obstante su gran densidad y peso, requiere menos calor para calentarse que el que es necesario para calentar el mismo número de grados, una cantidad igual de agua fría. El mercurio por lo tanto se puede decir, tiene menos capacidad para la materia del calor.

Nosotros por lo tanto pensamos, que en los casos que nosotros hemos investigado, la capacidad de diferentes cuerpos para el calor solo se puede aprehender haciendo experimentos. Llegando a acuerdos entre yo y otros.

El Dr. Crawford ha hecho muchos y muy curiosos, y su teoría del calor de los animales se encontró parcialmente a partir de estos experimentos, hechos de esta manera, el resultado de los cuales se encuentra en su libro sobre esta materia.

Aparece, por lo tanto, de los resultados generales de estos experimentos, que si nosotros tenemos miles de masas de materia, del mismo tamaño y forma, pero de diferentes materiales, y los colocamos todos en la misma habitación hasta que alcancen la misma temperatura, y si introducimos en el cuarto una gran masa de hierro al rojo vivo; el calor que se comunica entre todos los diferentes cuerpos al mismo tiempo, puede ser suficiente para elevar la temperatura de todos ellos en 20 grados, digamos. El calor así comunicado del hierro, aunque produce el mismo efecto en todos, es decir eleva su temperatura en 20 grados, no es sin embargo igualmente repartido o distribuido entre ellos. Algunos de ellos podrían atraer y retener una mayor cantidad de este calor o materia del calor que los otros y la cantidad recibida por cada uno no estaría en proporción a sus densidades, sino en una proporción que no tiene nada que ver con esto; y quizás no haya dos de ellos que reciban precisamente la misma cantidad, sino que cada uno recibe de acuerdo a su propia y peculiar capacidad, o a su particular fuerza de atracción. Cada uno podría requerir su propia cantidad para elevar su temperatura en 20, grados, o reducirla, para alcanzar un equilibrio o igualdad de saturación con los cuerpos de los alrededores.

Nosotros debemos concluir entonces, que diferentes cuerpos, aunque ellos sean del mismo tamaño o tengan el mismo peso, cuando son reducidos a la misma temperatura o grado de calor, cualquiera que sea este, deben contener muy diferentes cantidades de materia del calor, como diferentes son las cantidades necesarias para llevarlos a este nivel, o equilibrio unos con otros.

Calor latente

La fluidez es considerada universalmente como producida por una pequeña adición a la cantidad de calor que el cuerpo con-

tiene cuando ha sido calentado hasta el punto de fusión, y el retorno de tal cuerpo al estado sólido, como dependiendo de una muy pequeña disminución de la cantidad de su calor, después de ser enfriado al mismo grado que el cuerpo sólido cuando éste es cambiado en fluido; es decir, que no recibe una mayor cantidad de calor dentro de él, que la que es medida por la elevación de la temperatura indicada, después de la fusión, por el termómetro y que cuando el cuerpo que se derrite es de nuevo vuelto a congelar, por una disminución de su calor, no sufre una mayor pérdida de calor que la que es indicada también por la simple aplicación del mismo instrumento.

Esta era la opinión universal sobre esta materia, tal como la conocí cuando empecé a hacer mis lecturas en la Universidad de Glasgow en el año 1757. Pero encontré rápidamente razones para objetar esto, tan inconsistente con muchos hechos notables cuando se le mira con atención. Y voy a esforzarme en mostrar que estos hechos son pruebas convincentes de que la fluidez es producida por el calor en una forma muy diferente.

Yo voy ahora a describir la manera en la cual me parece que la fluidez es producida por el calor, y nosotros podremos entonces comparar las ideas antiguas y las mías con los fenómenos. La opinión que yo tenía de la atenta observación de los hechos y fenómenos es como sigue:

Cuando el hielo o cualquier otra sustancia sólida se vuelve fluida por la acción del calor, soy de opinión de que recibe una cantidad del mismo en cantidad mucho más grande que la que es inmediatamente perceptible por el termómetro. En esta ocasión, entra en el mismo una cantidad de calor mayor, sin tornarlo aparentemente más caliente, lo que se pone de manifiesto mediante el termómetro. Esta cantidad de calor, no obstante, debe serle entregada para que tome la forma de

fluido, y yo afirmo que esta gran entrega de calor es la causa principal y más inmediata de la fluidez que se le ha comunicado.

Por otra parte, cuando privamos a dicho cuerpo de su fluidez mediante una disminución de calor, una gran cantidad de calor sale del cuerpo mientras éste va asumiendo la forma sólida. La pérdida de este calor no será percibida mediante el uso común del termómetro. El calor aparente del cuerpo, tal como es medido por ese aparato, no este disminuido o no lo está en proporción con la pérdida de calor que el cuerpo realmente entrega en tal ocasión. De una serie de hechos se deduce que el estado de solidez no puede ser obtenido sin la sustracción de esa considerable cantidad de calor. Y ello confirma la opinión de que esta gran cantidad de calor absorbida y, si se quiere, escondida en la composición de los fluidos, es la causa más necesaria e inmediata de su fluidez.

Para comprender las bases de esta opinión, y ante la inconsistencia de la anterior frente a numerosos hechos evidentes, debemos considerar en primer lugar las apariencias observables en la fusión del hielo y en la congelación del agua.

Si prestamos atención a la manera como el hielo y la nieve se funden cuando están expuestos al aire de una habitación caliente, o al deshielo en la primavera, percibiremos que, no obstante lo frío que estaban al principio, pronto son calentados hasta su punto de fusión, o pronto su superficie empieza a transformarse en agua. Y si la opinión común estuviera bien basada, si la transformación completa en agua de aquellos requiriera sólo la adición de una pequeña cantidad de calor, la masa del hielo o nieve, a pesar de su tamaño considerable, debería ser fundida en pocos minutos o segundos; proviniendo ese calor, necesario o incesante, del aire que lo rodea. Si éste fuera en verdad el caso, las consecuencias del mismo serían temibles en

muchas ocasiones, pues aún siendo las cosas como son, la fusión de grandes cantidades de hielo y nieve ocasiona violentos torrentes y grandes inundaciones en las regiones frías, o en los ríos que provienen de ellas. Pero si el hielo y la nieve se fundieran tan rápidamente como deberían hacerlo si la primera opinión sobre la acción del calor estuviera en lo cierto, los torrentes e inundaciones serían incomparablemente más irresistibles y espantosos. Destrozarían todo, y tan repentinamente que la humanidad tendría grandes dificultades para escapar a tiempo de su furia. Esta repentina fusión no se efectúa en la realidad: las masas de nieve y de hielo se funden en un proceso lento y requieren largo tiempo, especialmente si son de gran tamaño, como los glaciares, ventisqueros y grandes capas de nieve acumuladas durante el invierno. Estas, una vez iniciada su fusión, requieren frecuentemente muchas semanas de tiempo caluroso antes de que disuelvan totalmente en agua. Esta notable lentitud con que se funde el hielo, nos permite conservarlo durante el verano en las construcciones llamadas “casas de hielo” (depósitos de hielo). Comienza el hielo a fundirse en ellas tan pronto como es colocado en su interior, pero como el edificio expone al aire sólo una pequeña parte de su superficie y tiene una gruesa capa de barda o de paja y el acceso del aire atmosférico al interior está impedido por todos los medios posibles, el calor penetra en la “casa de hielo” lentamente; y ello, agregado a la lentitud con que el hielo está dispuesto a fundirse, hace que la fusión total se efectúe tan lentamente que en algunos de estos depósitos el hielo dura hasta el fin del verano. De la misma manera, la nieve continúa en muchas montañas durante todo el verano en estado de fusión, pero haciéndolo tan lentamente que toda la estación no es suficiente para su fusión total. Esta notable lentitud con la se funden el hielo y la nieve, me pareció muy discordante con la opinión

común de la modificación del calor durante la licuefacción de los cuerpos.

Y este mismo fenómeno constituye en parte la base de la tesis que propongo. Si examinamos lo que sucede, podremos advertir que la gran cantidad de calor que penetra en el hielo al estado de fusión para originar el agua en la que éste se transforma; y la duración del tiempo necesario para la sustracción de tanto calor a los cuerpos que lo rodean, es la razón de la lentitud con la que el hielo es fundido. Si alguna persona duda de la entrada y de la absorción de calor por el hielo en fusión, no tiene más que tocarlo: instantáneamente sentirá que éste absorbe rápidamente el calor de la mano. Puede también examinar los cuerpos que lo rodean o están en contacto inmediato con el hielo; o, si éste está suspendido de un hilo en el aire de una habitación, podrá percibir con su mano o mediante un termómetro una corriente de aire frío que desciende constantemente del hielo. En efecto: el aire en contacto con aquel que está siendo privado de una parte de su calor, y por lo tanto, enfriado, se torna más pesado que el aire del resto del ambiente; por esta causa se dirige hacia abajo, siendo su lugar ocupado inmediatamente por el aire más caliente, y por ello más liviano, el cual, a su vez, pierde pronto algo de su calor y, desciende de la misma manera. De ahí que se establezca una corriente continúa de aire caliente, desde el derredor hacia las inmediaciones del hielo, y un descenso de aire frío desde la parte baja de la masa del hielo suspendido. Durante esta operación, el hielo ha de recibir necesariamente una gran cantidad de calor.

Es evidente, pues, que el hielo fundente recibe calor muy rápidamente, pero el único efecto de éste es transformarlo en agua, la que no es ni un ápice más caliente que el hielo. Un termómetro aplicado a las gotas o pequeñas corrientes de agua a la salida inmediata del hielo, acusará la misma temperatura que cuando se lo coloca directamente

sobre el hielo; o, si hay alguna diferencia, es demasiado pequeña como para tomarla en consideración o prestarle atención. Por consiguiente, una gran cantidad de calor, o de la sustancia del calor, entra en el hielo y no produce otro efecto que darle fluidez, sin aumentar sensiblemente su calor. Parece ser absorbido y escondido en el seno del agua de tal modo que no puede descubrirse por la aplicación del termómetro.

Con el fin de entender esta absorción de calor dentro del hielo que se derrite y se esconde en el agua, más claramente, yo voy a hacer el siguiente experimento.¹

Yo hago, en la misma forma, coloco un pedazo de hielo dentro de una cantidad igual de agua, calentada a la temperatura de 176 grados y el resultado fue que el fluido no estaba tan caliente como el agua, justamente al empezar a congelarse.

Ahora, si un poco de agua salada de mar se adicionaba al agua, y se calentaba solo a 166 o 170, podemos producir un fluido sensiblemente más frío que el hielo que teníamos al comienzo. Esto nos parecía un curioso rompecabezas que no estaba de acuerdo con los hechos generales.

Esto es, sin embargo, prueba de que el fenómeno que tiene que ver con el hielo deritiéndose en diferentes circunstancias es inconsistente con la opinión que comúnmente se tiene sobre esta materia y que sustenta lo que yo había propuesto.

En la anterior descripción de procesos comunes de congelamiento del agua, la

«extrication» y salida del calor latente, si se me permite más los términos, es realizado en pequeños pasos, o más bien, con un progreso tan suave, que se pueden encontrar dificultades en aprehenderlo. Pero yo voy a mostrar otro ejemplo, en el cual esta «extrication» del calor escondido empieza a manifestarse y golpear.

Este ejemplo es un experimento, primero hecho por Fahrenheit, pero ha sido repetido y confirmado por muchos otros.

El deseaba congelar agua de la cual el aire había sido cuidadosamente extraído. Esta agua era vertida en pequeños globos de vidrio, llenos cerca de una tercera parte y cuidadosamente cerrados para evitar que el aire entrara nuevamente en ellos. Estos globos eran expuestos al aire en un clima muy frío; y se dejaban allí por un largo tiempo, de tal manera que uno tuviera razones para pensar que estaban a la misma temperatura del aire frío, el cual estaba a seis o siete grados por debajo del punto de congelamiento. El agua, sin embargo, todavía permanecía fluida tanto tiempo como el agua fuera dejada a la intemperie, sin perturbarla, pero una vez que se tomaba y se agitaba un poco, una repentina congelación repentinamente sucedía.

Se había visto por el trabajo de muchos otros que el experimento se podía realizar aunque al agua, no se le hubiera extraído el aire, y que la circunstancia más importante era que, fuera guardada en vasos de pequeño tamaño y preservada cuidadosamente de la más mínima perturbación. Los vasos por lo tanto debían ser cubiertos con papel o algo, para prevenir movimientos debidos al aire que afectarían la superficie del agua. En estas circunstancias podía ser enfriada a seis o siete grados por debajo del punto de congelamiento, sin que se congelara. Si se perturbaba, aparecía una repentina congelación, no de la totalidad, sino de pequeñas partes únicamente; la cual forma láminas de hielo

1 Black describe un experimento, en el cual, cuando iguales masas de agua y hielo son expuestas a fuentes similares de calor, se encontraba que la temperatura del agua se elevaba regularmente, mientras que el agua formaba por hielo derretido no se elevaba su temperatura. El además describe los resultados que él obtiene mezclando agua y hielo. El análisis de uno de estos experimentos sigue.[Nota del editor]

que atraviesan el agua en todas direcciones y forman una textura esponjosa de hielo que contiene agua en sus vecindades, dando la apariencia de que todo ha sido congelado. Pero el hecho más importante es que mientras esto sucede (y sucede en un instante de tiempo) esta mezcla de hielo y agua empieza repentinamente a calentarse y hace que el termómetro inmerso en ella llegue hasta el punto de congelación.

Nada puede ser más inconsistente con la vieja opinión relativa a la causa de congelación que los fenómenos de este experimento. Esto muestra que la pérdida de no más que una pequeña cantidad de calor, después de que el agua es enfriada debajo del punto de congelación, no es la más necesaria e inseparable causa de su congelación, ya que el agua es enfriada 6, 7 u 8 grados bajo ese punto sin ser congelada.

Del vapor y vaporización

Una más justa explicación se le debe ocurrir a cualquier persona, quien quiera tomar esta materia con paciencia y atención.

En la forma ordinaria de calentar el agua, el calor usado es aplicado a las partes inferiores del fluido. Si la presión sobre la superficie no se incrementa, el agua rápidamente adquiere el calor más grande que puede tener, sin asumir la forma de vapor. Cualquier adición subsiguiente de calor, por lo tanto, en el mismo instante en el cual ellos entran en el agua, debe convertir en vapor esa parte que afecta. Como estas adiciones de calor entran todas por la parte inferior del fluido, exige una constante producción de vapores elásticos ahí, los cuales como ya es sabido no pesan casi nada, deben, elevarse a través del agua que las rodea y aparecer atravesando la superficie con violencia y de ahí ser difundida a través del aire. El agua es así gradualmente gastada, tanto como la ebullición continúe, pero su temperatura jamás es incrementada, al

menos en esa parte que permanece después de una larga, continuada y violenta ebullición.

Las partes efectivamente en contacto con el fondo de la vasija, podemos suponer que reciben un poco más de calor, pero este es instantáneamente comunicado a los alrededores del agua a través del cual los elásticos vapores se elevan.

Esto tiene la apariencia de ser una idea simple y una completa descripción de la producción de vapor, y de la ebullición de fluidos. Esta era la única descripción que era dada antes de que yo empezara a hacer estas lecturas. Pero yo estoy convencido de que esto no es todo lo que se puede decir al respecto. De acuerdo a esta descripción y a la forma como concebimos la formación del vapor, nosotros podríamos afirmar que, después de que el cuerpo es calentado hasta su punto de vaporización, no es necesaria ninguna cosa mas que añadir una pequeña cantidad de calor para transformarla en vapor. Se supone además de otra forma, que cuando el vapor de agua es enfriado para alcanzar su condensación, esta condensación o retorno al estado de agua, puede suceder a causa o en consecuencia de haber perdido solo una pequeña cantidad de calor.

Pero yo puedo fácilmente mostrar, en la misma forma que en el caso de los fluidos, que una gran cantidad de calor es necesario para producir el vapor, aunque el cuerpo esté ya calentado a esa temperatura que no puede sobrepasar, por lo más pequeños posibles grados, sin ser convertida en vapor.

La innegable consecuencia de esto debería ser una explosión de toda el agua igual a la de la pólvora. Pero yo puedo mostrar, que esta gran cantidad de calor entra en el vapor gradualmente, mientras se está formando, sin hacer perceptiblemente más caliente el fenómeno. El vapor si es examinado con un termómetro tiene el mismo calor que el agua hirviendo de la cual se eleva. El agua debe ser

elevada a cuarta temperatura, porque, a esa temperatura únicamente, ella está dispuesta a absorber calor y no explota instantáneamente, porque en ese instante, no puede hacer una suficiente cantidad de calor atravesando la masa de agua.

De otra manera, yo puedo mostrar que cuando el vapor de agua es condensado en un líquido, la misma gran cantidad de calor sale fuera de él y entra a enfriar la materia por la cual el fue condensado.

La materia del vapor, o el agua a la cual es cambiado, no esté sensiblemente más fría por la pérdida de esta gran cantidad de calor. No se empieza a enfriar en proporción a la cantidad del calor obtenible de ella durante su condensación.

Todo esto empieza a ser evidente, cuando consideramos con atención la formación gradual del vapor a consecuencia de la continua aplicación de una causa de calor (fuente) y de la misma manera, cuando se observa una gradual condensación, cuando nosotros continuamos aplicándolo a un cuerpo que es enfriado.

Yo, entonces, llego con este experimento a confirmar la sospecha que yo tenía concerniente a la ebullición de fluidos. Mi conjetura, cuando la pongo en esta forma, tenía este propósito. Yo imagino que, durante la ebullición, el calor es absorbido por el agua y entra, dentro de la composición del vapor producido por ella, de la misma manera como éste es absorbido por el hielo que se derrite y entra en la composición del agua producida. Y el ostensible efecto del calor, en este último caso, consiste no en calentar, los alrededores del cuerpo, sino que entrega el hielo fluido, así, en el caso de la ebullición, el calor absorbido no calienta los alrededores del cuerpo, sino que convierte el agua en vapor. En ambos casos, no la consideramos como la causa del calentamiento, no percibimos su presencia, está escondido o latente; y yo le doy el nombre de calor latente.

Del calor en general

Joseph Black

Tomado de Energy: Historical development of the concept. Editado por B. Linsay.

Traducido por A. Romero y M. M. Ayala

El siguiente texto conforma la sección introductoria de "Lectures on the Elements of Chemistry, Given at the University of Edinburgh, 1766-1797", de J. Black.²

Como este extenso tema puede ser tratado en una forma provechosa, propongo:

1. Determinar lo que quiero decir con la palabra calor en estas lecturas.
2. Explicar el significado del término frío y determinar la diferencia real entre calor y frío.
3. Mencionar algunos de los intentos que han sido hechos para descubrir la naturaleza del calor, o para formarse una idea de cual puede ser la causa inmediata de éste.
4. Finalmente, empezaré a describir los efectos sensibles producidos por el calor sobre los cuerpos en los que éste es comunicado (transmitido).

Toda persona que reflexione sobre las ideas que asociamos a la palabra calor percibirá que esta palabra es usada con dos significados o para expresar dos cosas diferentes: o significa una sensación excitada en nuestros órganos; o una cierta cualidad, afección o condición de los cuerpos a nuestro alrededor que provoca en nosotros esa sensación. La palabra se usa en el primer sentido cuando decimos que sentimos calor; en el segundo, cuando decimos que hay calor en el fuego, o en una piedra caliente. No puede haber una sensación de calor en el fuego, o en la piedra; éstos están en un estado

2 Tomado de Energy: Historical development of the concept. Editado por B. Linsay. Traducido por A. Romero y M. M. Ayala

o condición que provoca (causa) en nosotros la sensación de calor.

Para tratar el calor y sus efectos, propongo usar la palabra únicamente en este segundo sentido, es decir, expresando ese estado, condición o cualidad de la materia que provoca en nosotros la sensación de calor. Esta idea de calor se modificará un poco y se extenderá a medida que avancemos, pero el significado de la palabra continuará en el fondo la misma, y la razón de la modificación será fácilmente percibida.

Toda la experiencia que hemos relacionado a esta cualidad o afección de la materia muestra que ésta es la cualidad más transmisible de un cuerpo a otro que cualquier otra cualidad que conocemos. Los cuerpos calientes en contacto o en la vecindad de cuerpos fríos no pueden estar sin transmitir a éstos una parte de su calor.

Cuando un terrón de hierro caliente es sacado del fuego ¿cómo podemos impedir transmitir su calor a la materia circundante? Sobre el suelo o sobre una piedra, muy rápidamente les comunica una parte de su calor; colocado sobre madera u otro material vegetal o animal, les comunica su calor en muy poco tiempo y a tal grado que se inflaman; suspendido en el aire por un alambre, un poco de atención pronto nos convencerá que éste transmite calor muy rápido al aire en contacto con él.

Así, el calor es perpetuamente transmisible de cuerpos calientes a los cuerpos fríos que los rodean, y además pasa de uno a otro y penetra toda clase de materia sin excepción: la densidad y solidez no son obstáculo para su progreso en la mayoría de los casos, éste parece pasar más rápido en cuerpos densos que en los raros, pero tanto los raros como los densos son afectados por el calor y éste es transmitido de unos a otros, aún el vacío formado por la bomba de aire es penetrado por éste. Sir Isaac Newton fue quien primero des-

cubrió esto por un experimento: ¿él suspendió un instrumento para medición de calor en un recipiente de vidrio grande y le sacó el aire; al mismo tiempo suspendió otro instrumento similar en otro recipiente de vidrio, igual al primero, pero sin evacuarlo, él percibió que tanto el primero como el segundo eran afectados por las variaciones del calor. (La Óptica de Newton, cuestión 18).

Mucho más tarde algunos experimentos sobre el mismo tema fueron hechos por el célebre Dr. Franklin y algunos de sus amigos en París. Ellos suspendieron un cuerpo caliente bajo recipiente evacuado de una bomba de aire, y otro cuerpo similar igualmente caliente en el aire del cuarto cerca a la bomba de aire, donde los cuerpos en cuestión eran tales que mostraban exactamente las variaciones de calor que ocurrían en ellos; fue percibido que ambos cuerpos perdieron gradualmente una parte de su calor hasta que fueron reducidos a la temperatura del cuarto en el cual el experimento fue hecho, pero el que colgaba en el aire perdía su calor más rápido que el que estaba suspendido en el vacío.

Los termómetros disminuyeron desde los 60 grados (Reamur)

	En vacío	En el aire
A 50 grados	En 17 minutos	En 7 minutos
A 37 grados	En 54 minutos	En 22 minutos
A 30 grados	En 85 minutos	En 29 minutos
A 20 grados	En 167 minutos	En 63 minutos

Los tiempos de enfriado están aproximadamente en la proporción de 5 a 2, esto es confirmado además por una serie de experimentos similares hechos por Benjamín Thompson.

Isaac Newton pensó que tales experimentos daban una prueba que el vacío de una bomba de aire no es perfecto sino que hay en

este alguna materia sutil por la cual el calor es transmitido, probablemente esta opinión se debió a una asociación muy general en nuestras mentes entre las ideas de calor y la materia; pero cuando pensamos en el calor siempre lo concebimos como residente en alguna clase de materia; o posiblemente esta noción de Isaac Newton pueda encontrarse basada en alguna opinión que él haya formado candentemente acerca de la naturaleza del calor.

Sin embargo, existe una gran razón independientemente de este experimento para creer que el vacío de la bomba de aire no es un vacío perfecto, y para pensar que siempre existe una materia sutil o vapor presente en éste; pero ya puedo imaginar fácilmente, y nosotros después miraremos abundantes razones para creer que el calor puede ser comunicado, o pasar a través del vacío, o un espacio vacío de toda materia.

Por eso, de esta manera y sobre todas las razones sin excepción, el calor se comunica de cuerpos calientes a fríos, cuando estos entran en contacto o están en la cercanía; y la comunicación continúa hasta que los cuerpos se reducen a una temperatura igual, indicando un equilibrio de calor con otro.

Cuando consideramos esta comunicación de calor de cuerpos calientes a fríos, la primera pregunta que puede acudir a nuestra mente es: ¿en que forma han actuado estos cuerpos, el uno sobre el otro, cuando esto ocurre? ¿Ha perdido uno de ellos algo, que el otro ha ganado? y ¿cuál de ellos ha perdido o cuál ha recibido?

La opinión común es que el cuerpo caliente ha perdido algo que ha sido añadido al otro. Y aquellos quienes han intentado razonar más profundamente sobre la naturaleza del calor, han estado de acuerdo con la mayoría en este punto; y han supuesto que el calor es una cualidad positiva, que depende ya sea en una materia sutil y activa introducida en los poros de los cuerpos, o en un temblor o

vibración provocado entre las partículas de éstos o quizás entre las partículas de una sustancia peculiar presente en todos los cuerpos; tal materia sutil o movimiento trémulo (tembloroso), han supuesto, es comunicado del cuerpo caliente al frío de acuerdo a nuestra experiencia general de la comunicación de la materia o del movimiento.

Pero aunque muchos filósofos han estado de acuerdo con la noción indistinta de calor como una cualidad positiva o una fuerza activa residente en el cuerpo caliente por la cual actúa sobre el frío; algunos otros no han estado completamente de acuerdo en esta opinión, no se han adherido a ésta. Con respecto a la variedad de casos en los que los cuerpos de temperaturas diferentes actúan uno sobre el otro, han supuesto que en algunos casos el cuerpo frío es la masa activa y que el cuerpo caliente es el sujeto pasivo sobre el que se actúa o en el cual algo es introducido. Cuando una masa de hielo por ejemplo o un terrón de hierro muy frío es colocado sobre una mano caliente en lugar de considerar que el calor se comunica de la mano caliente al hielo o al hierro frío, ellos han supuesto que hay en el hielo o el hierro frío una multitud de partículas diminutas, que han llamado partículas de escarcha o partículas frigoríficas, que tienen una tendencia a pasar de los cuerpos muy fríos a otros que son menos fríos; y que muchos de los efectos o consecuencias del frío, particularmente el congelamiento de fluidos depende de la acción de estas partículas frigoríficas; ellos las llaman spicule o pequeños dardos, imaginando que esta forma explica la aguda sensación y algunos otros efectos del frío intenso. Este, sin embargo, es el infundado trabajo de imaginación.

Para formar un buen juicio de este tema debemos empezar por dejar a un lado todos los prejuicios y suposiciones concernientes a la naturaleza del calor y del frío, y después proponernos a nosotros mismos esta

pregunta simple acerca de donde proceden originalmente estas dos cualidades aparentemente distintas de los cuerpos: ¿dónde están los orígenes del calor y el frío? Se ocurrirá inmediatamente que el calor tiene un origen evidente, o causa, en el sol y en los fuegos. El sol es evidentemente el principal y quizás finalmente, el único origen del calor difuso a través de este globo. Cuando el sol brilla, sentimos que este nos calienta, y no podemos equivocarnos al observar que además todo está caliente a nuestro alrededor. Además es evidente que aquellas estaciones en las que el sol brilla más son las más calientes, lo mismo que lo son aquellos climas en los cuales se está más directamente expuesto a su luz. Cuando el sol desaparece, el calor disminuye, y se reduce tanto como su influencia es interceptada. Por consiguiente debemos reconocer el sol como una causa manifiesta que actúa sobre toda la materia a nuestro alrededor, e introduciendo algo en ella, o causando en esta una condición que no está en su estado más espontáneo. Por lo tanto, no podemos evitar considerar esta nueva condición o calor, así inducida en la materia a nuestro alrededor, como una cualidad positiva o afección real de la cual el sol es la causa primaria y que es posteriormente comunicado desde los primeros cuerpos afectados a otros.

Pero después de haber formado esta conclusión con respecto al calor ¿dónde encontramos una causa primaria o fuente de frío? desconozco alguna causa general del frío, excepto la ausencia o acción disminuida del sol, o vientos que soplan desde aquellas regiones en las que su luz tiene el poder más débil. Por consiguiente no veo razón para considerar el frío como una cosa sino una disminución del calor. Los átomos frigoríficos y las partículas de escarcha, que se han supuesto como llevados por los vientos fríos, son completamente imaginarios. No tenemos la más pequeña evidencia de su existencia

y ninguno de los fenómenos, respecto a los cuales han supuesto su existencia, requieren una ficción tal para poder ser explicados.

Sin embargo, algunas personas quizás puedan aún encontrar difícil despojarse totalmente del prejuicio de que en ciertos casos el frío puede actuar en una forma positiva. Tales personas quizás puedan recurrir a nuestras sensaciones para dar una prueba contundente tanto de la realidad del frío como del calor. Cuando tocamos un terrón de hielo sentimos claramente que éste tiene una cualidad de frialdad, al igual que un fuego caliente tiene la cualidad de calor.

Pero examinemos lo que queremos significar por esta cualidad de frialdad. Para nosotros significa una cualidad, o condición por la que el hielo produce una sensación desagradable en la mano que lo toca; a dicha sensación le damos el nombre de frío, y la consideramos como contraria al calor y tanto como una realidad. Hasta ahora estamos en lo cierto. La sensación de frío en nuestros órganos no está en duda como un sentimiento real, como tampoco lo está la sensación de calor. Pero si por esa razón concluimos que este puede ser producido por una causa activa o positiva, una emanación del hielo en nuestros órganos, o en alguna otra manera diferente de una disminución de calor, nos formamos un juicio apresurado. De esto podemos estar convencidos por muchos experimentos. Podemos, por ejemplo, tomar una cantidad de agua y reducirla a tal estado que parece caliente a una persona y fría a otra y ni caliente ni frío a una tercera; la primera persona debe estar preparada para el experimento bañándose inmediatamente antes de éste su mano en agua fría; la segunda, bañándose su mano en agua caliente y la mano de la tercera persona debe estar en su estado natural, mientras que el agua con la que estos experimentos se hacen debe estar a una temperatura templada. Aún con la misma persona el agua le

puede parecer caliente cuando toque con una mano y fría cuando toque con la otra. De este modo estamos bajo la necesidad de concluir de estos actos que nuestras sensaciones de calor y frío no dependen de dos causas activas diferentes, o cualidades positivas en esos cuerpos que provocan estas sensaciones, sino de ciertas diferencias de calor entre esos cuerpos y nuestros órganos. Y en general, todo cuerpo parece caliente al ser tocado si está más caliente que la mano y le comunica calor, y todo cuerpo que esté menos caliente que la mano y le saque calor de la mano que lo toca parece frío, o se dice que está frío. La sensación en algunos casos es agradable y en otros desagradable, de acuerdo a su intensidad y el estado de nuestros órganos; pero ésta procede siempre de la misma causa, la comunicación de calor desde otros cuerpos a nuestros órganos, o desde nuestros órganos a ellos. ¿Que puede ser esperado más razonablemente que la sensación producida por la sensibilidad hacia adentro a la causa del calor, cualquiera que pueda ser, sea diferente de la sensación que acompaña su emisión desde nuestros cuerpos? Las sensaciones de hambre y saciedad son igualmente distintas.

Fuera de la inquietud producida por el tacto de cuerpos muy fríos, el congelamiento de agua ha inducido a muchos a creer en la existencia de partículas frigoríficas. El agua, imaginaban ellos, que era natural o esencialmente fluida, fluidez que era debida a la figura redonda y el brillo fino de sus partículas; y pensaban que para darle solidez debe emplearse algún agente poderoso que la pervirtiera de su estado natural. Por eso han supuesto la existencia de átomos frigoríficos, de formas angulares o puntiagudas, que siendo introducidos en los átomos del agua los enredan y los fijan entre si.

Pero todo esto también es imaginación y ficción. No tenemos la más mínima prueba de que las partículas de agua sean redondas, o alguna buena razón para imaginar que

ellas tengan esa forma. Más a un una reunión de pequeños cuerpos, redondos, lisos o pulidos no tendrán las propiedades que son bien conocidas en el agua, y el supuesto de que la fluidez es una cualidad natural o esencial del agua, es un gran error, debido a que la vemos más a menudo en estas partes del mundo en estado fluido que en estado sólido. En algunas otras partes del mundo, su estado más común o natural es un estado de solidez; hay partes del globo en las que raramente o nunca es vista como un fluido; que se encuentre la sustancia en uno u otro estado depende, como es el caso de todos los otros cuerpos, del grado de calor al que esté expuesta. El hielo puro nunca derrite a menos que intentemos calentarlo por encima de un cierto grado, y si enfriamos agua pura al mismo grado o por debajo de éste, estamos seguros que más temprano o más tarde lo veremos completamente congelado.

Sin embargo, sobre estos dos hechos solamente, la sensación de frío y el congelamiento del agua, se ha basado comúnmente la creencia en la existencia de átomos frigoríficos, de aquellos que han creído conveniente adoptar dicha opinión.

Pero algunos de ellos han sido influenciados también por el efecto de algunas sales sobre hielo o nieve. Muchos experimentos han mostrado, que ciertas sales o licores fuertemente salinos, al ser añadidas al hielo o la nieve, hacen que se derritan muy rápidamente y al mismo tiempo se enfrían más; debido a esto, esta mezcla de hielo y sales se emplea ocasionalmente para congelar muchos líquidos que no pueden ser congelados por los fríos ordinarios. El líquido que va a ser congelado se pone en un recipiente y este recipiente es sumergido en la mezcla de hielo y sal.

Estos y algunos otros pocos hechos que después consideraremos, son enumerados por el profesor Muschenbroek entre las razones que el da para su creencia en la existencia de

partículas frigoríficas o congelantes; pero no son un buen fundamento para dicha opinión; tendremos la oportunidad de explicar estos hechos sin recurrir a dicha suposición.

Por consiguiente tenemos razón para concluir que cuando cuerpos desigualmente calentados se aproximan el uno al otro, siempre actuará el más caliente o el menos frío sobre el otro, y le transmitirá una cosa real que llamamos calor. La frialdad es solamente la ausencia o deficiencia de calor. Este es el estado más común de la materia, el estado que asumen cuando son dejados a sí mismos y no son afectados por ninguna causa externa. El calor es evidentemente una cosa ajena a ella, es una cosa sobreagregada a la materia común o alguna alteración de ésta de su estado más espontáneo.

Habiendo llegado a esta conclusión, quizás se me pida enseguida expresar más claramente este asunto: dar una completa descripción o definición de lo que entiendo por la palabra calor en la materia.

Esta es, sin embargo, una exigencia que no puedo satisfacer completamente. No obstante, mencionaré la suposición relacionada con este tema que me parece la más probable. Nuestro conocimiento del calor no está en un estado de perfección que permita proponer con confianza una teoría del calor o asignar una causa inmediata para éste. Algunos intentos ingeniosos han sido hechos en esta parte de nuestro tema, pero ninguno de ellos ha sido suficiente para explicarlo en su totalidad. Sin embargo, esto no debe inquietarnos. No es la forma inmediata de acción, que depende de la naturaleza última de esta peculiar sustancia, o de la condición particular de la materia común, en lo que estamos más interesados; estamos lejos aún de ese grado de conocimiento químico, lo que hace necesario este paso para lograr avanzar. Aún tenemos ante nosotros un abundante campo de investigación en varios hechos generales o

leyes de acción, que constituyen los objetos reales de la pura ciencia química, es decir, los caracteres distintivos de los cuerpos en la medida en que son afectados por el calor y la mezcla.

Y yo considero que solamente cuando hayamos completado aproximadamente este catálogo tendremos un número suficiente de hechos que nos conduzcan a un conocimiento claro de la forma de acción peculiar de esta sustancia o de esta modificación de la materia; y cuando al fin lo hayamos logrado, presumo que el descubrimiento no será químico sino mecánico. Sin embargo sería imperdonable pasar sin destacar algunos de los más ingeniosos intentos que circulan entre los químicos filosóficos.

Pienso que el primer intento fue hecho por Lord Verulam; después de él, Mr Boyle dio muchas disertaciones sobre el calor; y el Doctor Boerhaave, en sus conferencias sobre química, se esfuerza en ir más lejos en el tema y desarrollarlo sobre los planteamientos de dos autores anteriores.

El intento de Lord Verulam puede verse en su tratado "De forma calidi", que él ofrece al público como un modelo de la forma conveniente de llevar adelante investigaciones en Filosofía Natural. En este tratado enumera todos los hechos principales y después los conocimientos relacionados con el calor o con la producción de calor y se esfuerza, después de una consideración cautelosa y madura de éstos, en formar alguna opinión bien fundamentada de su causa.

Sin embargo la única conclusión que él es capaz de sacar de la totalidad de los hechos es una muy general: que el calor es movimiento.

Esta conclusión esta fundamentada principalmente en la consideración de varios medios de producir el calor o de hacerlo aparecer en los cuerpos: como la percusión de

hierro, la fricción de cuerpos sólidos, la colisión de pedernal y acero.

El primero de estos ejemplos es una práctica a la cual los herreros algunas veces recurren para encender un fuego: ellos toman una vara de hierro blando (dulce), de un grosor de media pulgada o menos; colocando el extremo de ésta sobre el yunque, giran y golpean ese extremo muy rápidamente sobre lados diferentes con fuertes golpes de un martillo. Muy pronto se pone al rojo vivo y puede ser empleado para encender virutas de madera u otra materia muy combustible.

El calor producido por la fuerte fricción de cuerpos sólidos ocurre a menudo en algunas partes de maquinaria pesada cuando no se tiene un cuidado adecuado para disminuir esa fricción tanto como sea posible por la interposición de sustancias lubricantes; como, por ejemplo, en los ejes de las ruedas que son pesados en sí mismos o cargados pesadamente.

Se dice que bosques espesos se han encendido algunas veces por la fricción de las ramas de los árboles entre sí en épocas de tormentas. Y los salvajes, en diferentes partes del mundo han recurrido a la fricción de pedazos de madera para encender sus fuegos. En una oportunidad más adecuada consideraré después con alguna atención esta manera de producir el calor.

El tercer ejemplo arriba presentado en la colisión de pedernal y acero, es universalmente conocido.

En todos estos ejemplos, el calor es producido o hecho aparecer repentinamente en cuerpos que no lo han recibido en la forma usual de comunicación de otros, y la única causa de su producción es una fuerza o impulso mecánico o violencia mecánica.

Por eso fue muy natural para Lord Verulam sacar esta conclusión como la más usual: es más, quizás el único efecto de la fuerza o

impulso mecánico aplicado a un cuerpo sea producir algún tipo de movimiento de ese cuerpo. Este eminente filósofo ha tenido un gran número de seguidores en este tema.

Pero su opinión ha sido adoptada con dos modificaciones diferentes.

El gran número de filósofos ingleses supusieron que este movimiento estaba en las partículas pequeñas de los cuerpos calientes e imaginaban que este es un rápido temblor o vibración de estas partículas. Además Mr. Macquer y Mons. Fourcroy se inclinaron hacia esta opinión. Yo reconozco que no puedo formarme una concepción de este temblor interno, que tiene cualquier tendencia para explicar aún los efectos más simples del calor o esos fenómenos que indican su presencia en un cuerpo; y pienso que Lord Verulam y sus seguidores han estado satisfechos con semejanzas muy débiles entre los efectos más simples del calor y las consecuencias legítimas de un movimiento trémulo. Además veo muchos casos en los que el calor intenso se produce en esta forma, en donde estoy seguro que el temblor interno es incomparablemente menor que en otros casos de percusión, similar en todos los otros respectos. Así, los golpes que hacen una pieza de hierro intensamente caliente, no producen calor en una pieza similar de acero muy elástico.

Pero, el gran número de filósofos franceses y alemanes y el Dr. Boerhaave han supuesto que el movimiento en el cual consiste el calor no es un temblor o vibración de las partículas de un cuerpo caliente en sí mismo, sino de las partículas de una materia sutil, altamente elástica, fluida y penetrante, la cual esta contenida en los poros de los cuerpos calientes o interpuestas entre sus partículas: una materia que, ellos imaginan, esta difusa a través de todo el universo, que penetra con facilidad en los cuerpos densos; según algunos, una materia que modificada en formas diferentes produce luz y los fenómenos de electricidad.

Pero ninguna de estas suposiciones fueron completamente consideradas por sus actores o aplicadas para explicar la totalidad los hechos y fenómenos relativos al calor. Por eso, ellos no nos suministraron una teoría o explicación adecuada de la naturaleza del calor.

Un intento más ingenioso ha sido hecho últimamente; los primeros esbozos de éste, hasta lo que yo se, fueron dados por el Dr. Clerghorn en su disertación inaugural, publicada aquí sobre el tema del calor. El su pone que el calor depende de la abundancia de esa materia sutil, fluida y elástica que había sido imaginada antes por otros filósofos como presente en cada parte del universo y como causa del calor. Pero estos otros filósofos habían asumido o supuesto una propiedad solo perteneciente a esta materia sutil, viz, su gran elasticidad o la fuerte repulsión entre sus partículas; Dr. Cleghorn supuso que poseía también otra propiedad, una fuerte atracción por las partículas de otras clases de materia en la naturaleza, que tienen en general una atracción entre ellas.

El supuso, que las clases comunes de materia consisten de partículas atractivas o que tienen una gran atracción entre ellas y por la materia del calor; mientras que la sutil y elástica materia del calor es una materia autorrepelente, las partículas de ésta tienen una fuerte repulsión entre ellas, mientras que son atraídas por las otras clases de materia, y ello con grados diferentes de fuerza.

Esta opinión o suposición puede aplicarse para explicar muchos de los hechos notables relacionados con el calor, y es compatible con esos experimentos del Dr. Franklin y de Sir Benjamín Thompson, citados anteriormente...

Por consiguiente, un cuerpo frío puesto en un vacío se abastece más lentamente de calor o de la materia del calor, que cuando es puesto en contacto con una materia común en un estado más denso, que por su atraer la materia del calor condensa una mayor canti-

dad de ésta en el mismo espacio. Y un cuerpo caliente colocado en un vacío, retendrá su calor más tiempo que en circunstancias ordinarias, debido a la escasez de materia común en contacto con ella; porque la atracción de ésta, extraería más rápidamente el calor que cuando no hubiera otra materia presente fuera de la materia del calor.

Tal idea del calor es, por lo tanto, la más plausible entre las que conozco: y el intento más ingenioso para hacer uso de ésta ha sido publicado por el Dr Higgins en su libro sobre ácido vegetal y otros temas. Sin embargo, esta es una suposición y no puedo ahora hacerles entender la aplicación de esta teoría, o la forma en que se ha formado; el gran número de ustedes aún no están familiarizados con los efectos del calor y los diferentes fenómenos que esta teoría busca explicar, ni con algunos descubrimientos que precedieron esta teoría y dieron origen a ésta.

Por consiguiente nuestro primer asunto debe ser necesariamente, estudiar los hechos pertenecientes a nuestro tema, y prestar atención a la forma en que el calor entra en distintos cuerpos, o se transmite de unos a otros, ambos con las consecuencias de su entrada, que son los efectos que produce en los cuerpos.

Cuando consideramos estos detalles con atención, nos conducirán a un conocimiento más adecuado y a una información sobre el tema, lo que posibilitará examinar y entender los intentos que han sido hechos para explicarlos, y ponerlos, así, en el camino de formar un juicio de su validez.

Cuando prestamos atención a los efectos producidos por el calor en los cuerpos en los cuales es comunicado, vemos que son diferentes en las diferentes clases de materia. Pero hay algunos efectos que se producen en todas las clases o en una gran variedad de cuerpos, en una forma similar o con unas variaciones que se pueden despreciar, de

modo que la similaridad de su acción es suficientemente evidente. Esto es cierto, especialmente con respecto a las clases más simples de materia, tales como: agua, sales, piedras, metales, aire y muchas otras. Estos efectos similares producidos por el calor sobre los cuerpos de la clase más simple, pueden ser considerados como los efectos generales del calor, y así distinguirlos de muchos otros que se producen solamente sobre ciertos cuerpos particulares. Estos efectos generales del calor son: expansión, fluidez, vapor, ignición, o incandescencia e inflamación o combustión.

Memoria sobre el calor por MM. Lavoisier y De Laplace*

Marina Garzón Barrios

Universidad Pedagógica Nacional
mgarzonb@pedagogica.edu.co

Resumen

En primer lugar, se presenta una pequeña introducción *Sobre la traducción de los clásicos de la ciencia ¿por qué leerlos?*, cuyo objetivo es mostrar la pertinencia de este tipo de traducciones y la mirada con la que se considera que aportan a la construcción de saberes científicos. En segundo lugar, se desarrollan una notas editoriales respecto al contenido de *Memoria sobre el Calor*, y a continuación se entrega la traducción, del francés al castellano, del primer artículo de la obra titulado *Exposición de un nuevo medio para medir el Calor*.

* Titulo original *Mémoire sur la Chaleur. Mémoires de l'Académie des sciences, 1780*. Esta versión original en francés es de dominio público, se encuentra en Les Ouvres de Lavoisier, a disposición en http://www.lavoisier.cnrs.fr/ice/ice_page_detail.php?lang=fr&type=text&bdd=koyre_lavoisier&table=Lavoisier&bookId=38&typeofbookDes=Memoires&pageOrder=1&facsimile=off&search=no&facsimile=on&search=no&cfzoom=1.5. Última vista 06/09/2015.



Sobre la traducción de los clásicos de la ciencia. ¿Por qué leerlos?

El filólogo español Carlos García Gual -director de la Biblioteca Clásica Gredos- señalaba sobre la traducción de textos clásicos cómo estos textos *“forman parte de una herencia cultural que se mantiene viva por el fervor con el que distintas generaciones y en distintas épocas los han leído y comentado”*, señalaba también cómo *“gracias a los traductores, el diálogo con los grandes textos está a nuestro alcance y en nuestra lengua”*; con estas palabras exaltaba ese diálogo continuo con el pasado que promovía la traducción al castellano de las obras de literatura y de filosofía greco-latina, obras cuyas traducciones aún son abordadas en los cursos de filosofía y literatura en Hispanoamérica. Así, bajo esta perspectiva, se conservaron para el presente ediciones cuidadosas de los clásicos helénicos, siempre con un lenguaje actualizado para permitir mediante la traducción *“un modo de comprender una tradición cultural que aún es la nuestra”*.

La traducción al español de textos científicos y técnicos de los grandes autores de la ciencia ha tenido una ruta paralela, aunque más angosta, mediante la Colección de Clásicos de la Ciencia, colección de textos científicos y técnicos dirigida por el físico e historiador de la ciencia José Manuel Sánchez Ron, para quien *“La mayoría de las obras aquí recogidas representan un hito en la historia de la ciencia, algunas por la influencia filosófica de sus hallazgos o de sus elaboraciones, otras por haber aportado los fundamentos empíricos o teóricos de una nueva disciplina, o simplemente por haber sacado a la luz un hecho fundamental. Otras son representativas del espíritu de una época”*.

Otro ejemplo del desarrollo de traducciones al español de textos científicos y técnicos son los *Clásicos de la Ciencia*, de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Barcelona, que con el auge de la historia y la filosofía de las ciencias ha hecho de los textos escritos de la

mano de los científicos, un material alrededor del cual se van completando los cuadros de las historias de la ciencia, y se ha permitido una mayor comprensión de los contextos de producción de los desarrollos de la ciencia y de la técnica.

A diferencia de la suerte de las traducciones de los clásicos de la literatura y filosofía, la traducción de clásicos de la ciencia ha tenido un público mucho más limitado, y la lectura de los textos científicos clásicos es menos frecuente en los cursos de formación en ciencias. De este modo, es necesario preguntarse sobre la importancia, la necesidad y/o la pertinencia de la traducción de los originales de la ciencia, traducción que en algunas oportunidades ya existe en castellano o existe en inglés que es -al día de hoy- el idioma vehicular de la ciencia. Asimismo es posible preguntarse ¿Por qué leer a los científicos del pasado si -se supone- tenían menos “conocimiento científico” que los científicos del presente? ¿Por qué leer a Antoine Lavoisier y no a Ilya Prigogine? ¿Por qué leer en español y no inglés o francés o alemán en un mundo global y multilingüe?. Si a esto se suma que estamos inmersos en un momento donde la reproducción de la información es vertiginosa, crece la multiplicidad de aplicaciones para traducción en línea, se han liberado para el dominio público grandes bases de datos, se han liberado libros y artículos de carácter científico y técnico, y además la divulgación científica y la ciencia ficción están consolidadas como géneros literarios, etc. Entonces, frente a este panorama, la traducción de clásicos de la ciencia resultaría una labor inútil.

Sin embargo, la mirada que se tiene del pasado como sometido a error por el “avance” tecno-científico merece una mayor reflexión justamente indagando en el pasado; la literatura de divulgación científica difícilmente permitiría ahondar y comprender los problemas de una investigación aunque presente muy bien sus resultados; y toda esta posibi-

lidad de libre acceso a la información, y a la ciencia, en un mundo de participación global, sigue siendo un espejismo. Para nadie es un secreto que los países de habla hispana se encuentran en la periferia de la ciencia hegemónica, y de este modo, ser partícipes de la construcción de conocimiento es poder acceder a las fuentes primarias de esta producción científica particular, para poder contrastarla con nuestras propias fuentes.

Es por esto, que la traducción que se propone para los textos clásicos de la ciencia más allá de la intención de la transferencia de información, busca también que el lector se ponga en diálogo con ellos. Ponernos en diálogo con la ciencia es también reconocernos como sujetos de saber, en este caso, a cada traducción le subyace una mirada particular del traductor, una perspectiva del texto reconciliada con la época, la cosmovisión e incluso la intención de quien traduce. Aunque el trabajo del traductor no es reproducir el texto a su propio acomodo, su ejercicio consiste en revivir el texto al interior de un entorno quizá completamente distinto, que implica presentar una interpretación con un uso actual de la lengua, un vocabulario claro y una precisión léxica que es de carácter local. Si bien el inglés es la lengua vehicular de la ciencia, de la misma forma como en otro momento lo fue el latín, entonces de la misma forma podríamos decir como en sus tiempos lo hizo Galileo *“Escribo en la lengua hablada porque es necesario que todo el mundo pueda leerme”*.

¿Por qué leer los clásicos de la ciencia? Bajo una mirada universalista, si la ciencia hace parte de la herencia cultural de la humanidad, aún nos encontramos excluidos de esa herencia, bien sea porque no los hemos leído o porque siendo ciudadanos de habla hispana, de la ciencia universal hemos apropiado básicamente sus productos. En esta medida, posibilitar el acceso a los textos clásicos de la ciencia en castellano, nos acerca a los con-

textos de producción del conocimiento científico, no sólo a sus resultados, nos acerca a las comprensiones del mundo que se tuvieron en el pasado, nos acerca a unas formas de pensar y actuar que nos permiten comprender, dentro de nuestro contexto, los problemas que dirigieron una investigación específica, las formas de resolverlos, las necesidades de esa investigación, etc. Este acercamiento es también un acercamiento a las herramientas matemáticas, a los instrumentos de medida, a los procedimientos, a las instituciones, a las culturas que han desarrollado los científicos en la construcción de su conocimiento, ampliar esta mirada es ampliar también la mirada frente al quehacer de la ciencia.

Por otra parte, poder contar con versiones al castellano de los originales de la ciencia puede ser muy fecundo en el terreno de la formación en ciencias. Es evidente que los textos de enseñanza no tienen por objeto señalar tales contextos de producción de conocimiento, los problemas que guían a los científicos hacia la formulación u organización de ciertos conceptos, teorías y/o conclusiones. Leer los clásicos de la ciencia es una estrategia para conseguir que, en el proceso de enseñanza de las ciencias, los maestros y nuestros estudiantes encontremos estos sentidos. Buscar las ideas, los métodos, las causas e incluso las controversias que les dieron origen y que posibilitaron edificar las teorías de una disciplina, es una estrategia que permite reinterpretarlas para producir nuevos sentidos; En contraste con esta producción científica, tradicional y hegemónica, podremos reconocer y valorar nuestros propios saberes. La mirada a estos textos lejos de caer en la repetición del pasado, da cuenta de un estado de la ciencia y posibilita la comprensión de su dinámica y sus productos. En otras palabras *“Así como de los viejos campos ve el hombre, año tras año, venir el nuevo trigo, del mismo modo, de los viejos libros, viene toda esa nueva ciencia para que el hombre aprenda. Chaucer”*

Notas editoriales respecto a memoria sobre el calor

*Mémoire sur la chaleur*¹, de la que aquí se presenta solamente el primer artículo titulado *Exposition d'un nouveau moyen pour mesurer la chaleur*², es una obra escrita por Antoine-Laurent de Lavoisier (1743 -1794) y Pierre-Simon de Laplace (1749 - 1827), publicada en las *Mémoires de l'Académie des sciences* en 1780. En ella se presentan los experimentos por medio de los cuales estos dos franceses hicieron posible la medición de la cantidad de calor, medida que por la falta de un instrumento desarrollado para ello no había sido posible de precisar y generalizar en relación con aquellas visiones que sobre el calor estaban siendo expuestas hacia final del siglo XVIII.

En la primera parte del texto, Lavoisier y de Laplace presentan el estado de las investigaciones que habían sido desarrolladas por otros físicos, y que evidencian dos miradas sobre el calor que ya para esa época estaban fuertemente diferenciadas y hacían parte de las discusiones académicas, por un lado, la idea de que el calor fuera un fluido móvil vertido al interior de las sustancias, y por otro, la idea del calor como resultado del movimiento molecular. Lavoisier y de Laplace deciden obtener de estas dos hipótesis solo los principios que les sean comunes, y son comunes en virtud de haber sido establecidos y confirmados por la experiencia.

Puesto que ambas hipótesis responden bastante bien a algunos fenómenos particulares, señalan que no habiendo manera de decidir sobre una u otra forma de entender la naturaleza del calor "*lo que nos queda es observar sus efectos... podemos elegir uno fácil de medir, y que sea proporcional a su causa*". Bajo esta premisa se dan a la tarea de determinar la medida del calor, cada procedimiento es

descrito minuciosamente a lo largo del texto hasta mostrar, finalmente, que la medida del calor es posible de realizarse con la máquina que ellos construyen para obtenerla, esta máquina es muy conocida como el calorímetro de Lavoisier, máquina sobre la cual presentan tres modelos diseñados según si el calor a medir es el que generan las mezclas de sustancias, la combustión o la respiración de los seres vivos.

Este es un texto ingenioso, que permite comprender los procedimientos y el ejercicio de formalización que llevaron a Lavoisier y De Laplace a establecer $m q (a - b)$ como medida del calor sensible (cuando no hay cambio de fase), y $m q (a - b) = m' q (b - a')$ hoy día llamada la ecuación de equilibrio térmico de sustancias, donde m y m' son las masas de las sustancias que se ponen en contacto térmico, q y q' sus calores específicos y $(a - b)$ o $(b - a')$ los cambios de temperatura para cada sustancia, esta ecuación que se utiliza tan frecuentemente en los ejercicios para obtener calores específicos, es el método de medida que proponen como método de las mezclas, y que es solo fiable cuando entre sustancias no hay reacciones químicas, no hay combustión.

La riqueza de este trabajo está también en la claridad con la que Lavoisier y de Laplace van describiendo sus métodos de trabajo y además métodos alternativos que usan otros investigadores y con los que no se obtienen ciertos resultados. Así pues, la lectura de este documento puede resultar fascinante tanto para quienes están interesados en las prácticas experimentales como para quienes se interesan por la dinámica científica.

Lavoisier es principalmente reconocido como el padre de la química moderna gracias a su *Traitée Élémentaire de Chimie* publicado como síntesis de su trabajo y su obra cumbre hacia 1789; mientras de Laplace es principalmente reconocido por el *Traité de mécanique céleste*, una obra de cinco tomos

1 Memoria sobre el Calor.

2 Exposición de un nuevo medio para medir el Calor.

publicada en 1799, y que él mismo denominó una aplicación singular del cálculo de derivadas parciales, para presentar los problemas de la astronomía. Frente a la magnitud de estos majestuosos edificios, *Mémoire sur la chaleur* podría ser considerada una obra menor cuya resonancia es apenas suficiente para reconocer el trabajo de Lavoisier en el estudio de las teorías de la física, o para reconocer el trabajo experimental de De Laplace en un terreno diferente al de la mecánica o de la teoría analítica de las probabilidades.

A pesar de la existencia de algunas traducciones al español de los textos de Lavoisier y de Laplace, esta obra ha pasado un tanto desapercibida. Por esta razón, la traducción *Memoria sobre el Calor* que aquí se presenta se considera un esfuerzo por desarrollar material de lectura para un curso sobre fenómenos térmicos que sea útil tanto dar sentido a algunas prácticas que se desarrollan cuando se estudia calorimetría, ella puede ser material que amplíe la mirada respecto a los ejercicios propuestos en los libros de texto.

Memoria sobre el calor por Lavoisier y Laplace³

Esta memoria es el resultado de los experimentos sobre el calor, que hemos hecho en común el Sr. de Laplace y yo, durante el invierno pasado; el frío poco considerable de esta estación no nos ha permitido hacer un número mayor. Antes de publicar algo sobre este tema, nos propusimos esperar un invierno más frío que nos permitiera repetirlos varias veces con todo el cuidado posible, sin embargo, hemos decidido hacer público este trabajo aunque sea muy imperfecto, pues consideramos que el método que usamos puede ser de alguna utilidad en la teoría del calor, y que su precisión y su generalidad podrán ser

adoptadas por otros físicos que tienen inviernos más favorables para este tipo de experiencias al estar ubicados al norte de Europa.

Vamos a dividir esta memoria en cuatro artículos: en el primero, expondremos una nueva forma para medir el calor; en el segundo, presentaremos el resultado de los principales experimentos hechos por este medio; en el tercero, examinaremos las consecuencias que se derivan de estas experiencias; finalmente, en el cuarto artículo, hablaremos de la combustión y la respiración.

Artículo 1

Exposición de una nueva forma para medir el calor

Cualquiera que sea la causa que produce la sensación de calor, ésta es susceptible de aumentar y disminuir, y desde este punto de vista, puede ser sometida al cálculo. Parece que los antepasados no tuvieron la idea de medir sus observaciones, y no es sino hasta el siglo pasado que se han imaginado maneras para lograrlo.

Se parte de la siguiente observación general, un calor mayor o menor hace variar sensiblemente el volumen de los cuerpos, principalmente el de los fluidos, y se han construido instrumentos propios para determinar estos cambios de volumen; varios físicos de este siglo han perfeccionado estos instrumentos, ya sea para determinar con precisión los puntos fijos de calor tales como el grado de hielo y el de agua hirviendo a una determinada presión atmosférica, ya sea para buscar en el fluido aquellas variaciones de volumen que se aproximen lo más proporcionalmente a las variaciones de calor; de suerte que en relación con su medida no hay más que desear que sea una forma segura de apreciar los grados extremos.

Pero el conocimiento de las leyes que se refieren al calor, cuando se propaga en los

³ *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1780, p. 355. Traducción Marina Garzón Barrios. Septiembre 2014.

cuerpos, está lejos del estado de perfección necesaria para someter al análisis los problemas relacionados con la comunicación y los efectos del calor en un sistema de cuerpos calentados con cantidades distintas, especialmente cuando su mezcla los descompone y forma nuevas combinaciones.

Se han hecho ya un gran número de experiencias interesantes de las cuales se deduce que, una gran cantidad de calor es absorbida en el paso del estado sólido al estado líquido, y de este último al estado de vapor, sea que el calor se combine en ese paso, sea que aumente la capacidad de la materia para contenerlo. Se ha observado además, que a igual temperatura los diferentes cuerpos no contienen una cantidad igual de calor, para el mismo volumen, y en este sentido, se observa que hay entre ellos otras diferencias que no dependen de sus respectivas densidades. Igualmente, se han determinado las capacidades de varias sustancias para contener el calor; y como en la superficie de la tierra, los cuerpos -aún los más fríos- no están enteramente despojados de calor, se ha buscado conocer en sus variaciones las cantidades del calor absoluto indicadas por los grados del termómetro; sin embargo, todas estas determinaciones, aunque muy ingeniosas, se basan en hipótesis que todavía piden ser verificadas por un gran número de experimentos.

Antes de ir más lejos, debe establecerse de manera específica qué queremos decir con estas palabras: *calor libre*, *capacidad de calor* o *calor específico de los cuerpos*.

Los físicos están divididos sobre la naturaleza del calor. Muchos de ellos ven el calor como un fluido vertido en toda la naturaleza, y los cuerpos son más o menos penetrados por éste, a razón de su temperatura y de su disposición particular para contenerlo. El calor se puede combinar con ellos, y en este estado, deja de actuar sobre el termómetro sin poder transferirse de un cuerpo a otro, no

es sino el estado de libertad el que le permite equilibrarse en los cuerpos, esta es la forma en que lo llamamos calor libre.

Otros físicos piensan que el calor no es más que el resultado de los movimientos no sensibles de las moléculas de la materia. Sabemos que los cuerpos, incluso los más densos, están llenos de una gran cantidad de poros o huecos pequeños, cuyo volumen puede exceder considerablemente. Del mismo material que los encierra, estos espacios vacíos dejan a sus partes no sensibles la libertad de oscilar en todas las direcciones, y es natural pensar que estas partes están en una continua agitación, que si aumenta hasta cierto punto, puede desunir y descomponer los cuerpos; este es el movimiento interno que constituye el calor, según los físicos de los que estamos hablando.

Para desarrollar esta hipótesis, haremos observar que, en todos los movimientos en los que no hay un cambio brusco, existe una ley general que los geómetras han designado bajo el nombre de *principio de la conservación de las fuerzas vivas*; esta ley consiste en que, en un sistema de cuerpos que actúan los unos sobre los otros de cualquier manera, la fuerza viva, es decir, la suma de los productos de cada masa por el cuadrado de su velocidad, es constante. Si los cuerpos están animados por fuerzas aceleratrices, la fuerza viva es igual a la que era al principio del movimiento, más la suma de las masas multiplicadas por los cuadrados de las velocidades debidas a la acción de las fuerzas aceleratrices. En la hipótesis que nosotros examinamos, el calor es la fuerza viva que resulta de los movimientos no sensibles de las moléculas de un cuerpo; éste es la suma de los productos de la masa de cada molécula por el cuadrado de su velocidad.

Si ponemos en contacto dos cuerpos cuya temperatura es diferente, las cantidades de movimiento que se comunicarán mutuamente serán en principio desiguales; la fuerza

viva de las más frías se incrementará en la misma cantidad que disminuirá la fuerza viva de la otras, y este aumento tendrá lugar hasta que las cantidades de movimiento comunicadas de una parte y de otra sean iguales; en este estado la temperatura de los cuerpos alcanzará la uniformidad.

Esta forma de mirar el calor explica fácilmente por qué el impulso directo de los rayos solares es inapreciable, mientras que los rayos producen mucho calor.

Su impulso es el producto de su masa por su simple velocidad; sin embargo, aunque esta velocidad sea excesiva, su masa es tan pequeña, que este producto es casi nulo, en lugar de que su fuerza viva sea el producto de su masa por el cuadrado de su velocidad, el calor que ésta representa, es de un orden más superior al de su impulso directo. Este impulso sobre un cuerpo blanco, que refleja ampliamente la luz, es más grande que en un cuerpo negro, y sin embargo los rayos solares comunican al primero menos calor, porque estos rayos, al reflejarse, llevan su fuerza viva, que transferirán al cuerpo negro que los absorbe.

Nosotros no decidiremos entre estas dos hipótesis anteriores. Muchos fenómenos parecen ser favorables a la última, tal es el caso, por ejemplo, del calor producido por la fricción de dos cuerpos sólidos; pero hay otros casos que se explican más simplemente con la primera hipótesis; puede ser que sean las dos a la vez. Sea lo que sea, como no se pueden formular más que estas dos hipótesis sobre la naturaleza del calor, se deben admitir los principios que les son comunes; sin embargo, siguiendo el uno y el otro, *la cantidad de calor libre sigue siendo siempre la misma en la simple mezcla de los cuerpos*. Es evidente, que si el calor es un fluido que tiende a entrar en equilibrio, y, que si no es más que la fuerza viva que resulta del movimiento interno de la materia, el principio que hay que seguir es el de la conservación de las fuerzas vivas. La

conservación de calor libre, en la simple mezcla de los cuerpos, es entonces independiente de cualquier hipótesis sobre la naturaleza del calor; ésta ha sido generalmente aceptada por los físicos, y nosotros la adoptaremos en las investigaciones siguientes.

Si el calor es un fluido, es posible que, en la combinación de varias sustancias, éste o se combine con ellas o se libere; por lo tanto, nada indica a priori que calor libre es el mismo antes y después de la combinación, nada lo indica tampoco en la hipótesis en la que el calor es la fuerza viva de las moléculas del cuerpo; porque en las sustancias que se combinan, actuando la una sobre la otra en virtud de sus afinidades mutuas, sus moléculas están sometidas a la acción de fuerzas de atracción que pueden cambiar la cantidad de su fuerza viva y, por consecuencia, de calor; no obstante, se debe admitir el siguiente principio como principio común a las dos hipótesis.

Si en una combinación o un cambio de estado cualquiera, hay una disminución de calor libre, este calor se repartirá todo, mientras la sustancia regresa a su primer estado; y respectivamente, si en la combinación o en el cambio de estado hay un aumento de calor libre, éste nuevo calor desaparecerá en el retorno de las sustancias a su estado inicial.

Este principio es, además, confirmado por la experiencia, y la detonación de nitro nos proporcionará en lo que sigue una prueba sensible. Este principio puede generalizarse y extenderse a todos los fenómenos del calor de la siguiente manera: *Todas las variaciones de calor, ya sean reales o aparentes, que tiene un sistema de cuerpos, al cambiar de estado, se reproducen en un orden inverso, cuando el sistema vuelve a su primer estado*. Así, en la transformación de hielo en agua y de agua en vapor, una cantidad muy considerable de calor ha desaparecido para el termómetro, lo que se repetirá en la transformación de agua en hielo y en la condensación de los vapores.

En general, la primera hipótesis se transformará en la segunda al cambiar las palabras de calor libre, calor combinado y calor entregado, por aquellas de fuerza viva, pérdida de fuerza viva, y aumento de fuerza viva.

En la ignorancia en la que nos encontramos sobre la naturaleza del calor, lo que nos queda es observar sus efectos, los principales consisten en dilatar los cuerpos, hacerlos fluidos, y convertirlos en vapores. Entre sus efectos, podemos elegir uno fácil de medir, y que sea proporcional a su causa; este efecto representará el calor, de la misma manera que en dinámica representamos la fuerza por el producto de la masa y la velocidad, aunque nosotros ignoremos la naturaleza de esta modificación singular, en virtud de la cual un cuerpo responde sucesivamente a diferentes puntos del espacio.

El efecto por el cual se mide generalmente el calor es la dilatación de los fluidos, y principalmente el mercurio; según las interesantes experiencias de Mr. de Luc, la dilatación de este último fluido es un poco más proporcional al calor en todo intervalo comprendido entre el grado de hielo y aquél del agua hirviendo; el calor puede seguir una ley diferente en los grados más alejados; indicaremos enseguida otro efecto del calor, que es constantemente proporcional, independientemente de su intensidad.

Utilizaremos el termómetro de mercurio que está dividido en ochenta partes iguales entre la temperatura de fusión de hielo y la temperatura del agua hirviendo, a presión de una columna de 28 pulgadas de mercurio; cada parte forma un grado, el origen de grados -o cero el termómetro- es el término de la fusión de hielo, de forma que los niveles inferiores deben considerarse como negativos. Suponemos la escala del termómetro extendida indefinidamente por debajo del cero y por encima del nivel de agua hirviendo, y dividida proporcionalmente al calor. Estas

divisiones, que son aproximadamente iguales desde cero hasta 80 grados, pueden ser muy desiguales en las partes alejadas de la escala; pero sean las que sean, cada grado siempre medirá una cantidad constante de calor.

Si suponemos dos cuerpos iguales en masa, y reducidos a la misma temperatura, la cantidad de calor necesaria para elevar un grado su temperatura no puede ser la misma para estos dos cuerpos. Y, si se toma por unidad aquella que puede elevar un grado la temperatura de una libra de agua común, se plantean fácilmente todas las otras cantidades de calor, respectivas a los diferentes cuerpos y que pueden expresarse como partes de esta unidad. En lo sucesivo nosotros pensaremos por capacidades de calor o calores específicos que son equivalentes a las cantidades de calor necesarias para elevar, en igualdad de masa, un mismo número de grados de temperatura. Estos valores pueden variar según los diferentes grados de temperatura; por ejemplo, si las cantidades de calor necesarias para elevar una libra de hierro y una libra de mercurio de cero a un grado, están en la proporción de 3 a 1, estas cantidades pueden usarse para elevar las mismas sustancias de 200 a 201 grados, pueden estar en una proporción mayor o menor, pero podemos suponer que estas proporciones son aproximadamente constantes desde cero hasta a 80 grados -al menos hasta este punto la experiencia no nos hace notar diferencias significativas- y es para este intervalo que determinaremos los calores específicos de diversas sustancias.

Se ha hecho uso del siguiente método para estas cantidades. Consideremos una libra de mercurio a cero grado, y una libra de agua a 34 grados; al mezclarlos, el calor del agua caliente se comunicará al mercurio, y después de unos instantes, la mezcla tendrá una temperatura uniforme. Suponemos que es de 33 grados, y que en general, la cantidad de calor sigue siendo siempre la misma para la mezcla

de varias sustancias que no tengan ninguna acción química las unas sobre las otras; bajo estos supuestos, el grado de calor perdido a través del agua habrá elevado la temperatura del mercurio a 33 grados, se deduce por lo tanto, que para elevar el mercurio a una temperatura determinada, sólo participa la treintaitresava parte del calor necesario para elevar el agua a la misma temperatura, esto permite decir nuevamente que el calor específico del mercurio es treinta y tres veces menor que el del agua.

Entonces, se puede establecer una regla general y bastante fácil para determinar, a través de mezclas, el calor específico de los cuerpos; porque, si se llama m la masa del cuerpo más caliente, expresada en partes de libra tomada como unidad; a el grado del termómetro que indica su temperatura; q el calor necesario para elevar un grado la temperatura de una libra de esta sustancia. Si se designa por m' , a' , q' , las mismas cantidades referidas al cuerpo menos caliente, y finalmente se llama b al grado del termómetro que indica la temperatura de la mezcla cuando es uniforme; es visible que el calor perdido por el cuerpo m está en proporción con su masa m y el número de grados $a - b$ que se ha reducido su temperatura, multiplicado por la cantidad de calor q que puede elevar un grado la temperatura de una libra de esta sustancia. Se tendrá entonces $q m (a - b)$ para la expresión de esta cantidad de calor perdida.

Por la misma razón, la cantidad de calor adquirido por el cuerpo m' está en razón de su masa m' y el número de grados $b - a'$ en lo que su temperatura ha aumentado, multiplicado por la cantidad q' , lo que da $q' m' (b - a')$ para la expresión de esta cantidad de calor. Pero, puesto que se supone que después de mezclar la cantidad de calor es la misma que antes, hay que igualar el calor perdido por el cuerpo m con el calor adquirido por el cuerpo m' ; de esto se tiene que $m q (a - b) = m' q (b$

$- a')$. Esta ecuación no permite conocer ni q ni q' , pero da para su proporción, $q / q' = m' (b - a') / m (a - b)$.

Entonces, se tendrá así la proporción de los calores específicos de los dos cuerpos m y m' , de suerte que, si se comparan las diversas sustancias de la naturaleza con una misma sustancia, por ejemplo, el agua común, se podrán determinar por este medio los calores específicos de estas sustancias, en partes del calor específico de la sustancia con la cual se relaciona.

En la práctica, este método está sujeto a un gran número de inconvenientes que pueden causar errores sensibles en los resultados; en la mezcla de sustancias cuyo peso específico es muy diferente, tales como el agua y mercurio, es difícil tener una manera para asegurar que todas sus partes tienen la misma temperatura; además se debe tener en cuenta el calor robado por los recipientes y por la atmósfera, mientras la temperatura de la mezcla alcanza la uniformidad, esto exige un cálculo delicado y propenso al error. Además, no se pueden comparar directamente aquellas sustancias que tienen una acción química las unas sobre las otras; en ese caso, se debe comparar con una tercera sustancia sobre la cual éstas no tengan ninguna acción, y si no hay ninguna sustancia similar, hay que compararlos con dos cuerpos, y aún con un número mayor que, al multiplicar las proporciones para determinar algunas por medio de las otras, multiplica también los errores en los resultados. Este método sería todavía de un uso más que imposible al tener el frío o el calor producido por el uso de combinaciones, y es absolutamente insuficiente para determinar el calor que la combustión y la respiración emiten.

La observación de estos fenómenos es la parte más interesante de la teoría del calor, nosotros hemos pensado que sería de gran utilidad en esta teoría usar un método espe-

cífico para determinar con precisión, puesto que sin su ayuda, sólo se formarían hipótesis con las cuáles sería imposible hacer cumplir un acuerdo con la experiencia. Bajo esta consideración hemos determinado que nos ocuparemos en eso primero, y expondremos aquí lo que hemos alcanzado y las reflexiones a la que nos ha conducido.

Si se transporta una masa de hielo, enfriado a un grado cualquiera, hacia un ambiente cuya temperatura está por encima del cero del termómetro, todas sus partes experimentarán la acción del calor del ambiente hasta que toda su temperatura haya alcanzado el cero. En este último estado, el calor del ambiente se detendrá en la superficie del hielo, sin poder penetrar en el interior; el calor se usará sólo para derretir una primera capa de hielo, que le absorberá mientras se convierte en agua; un termómetro colocado en esta capa se mantendrá al mismo nivel, y el efecto sensible del calor sólo será el del cambio del hielo en fluido. Cuando enseguida el hielo vuelva a recibir un nuevo nivel de calor, una nueva capa del hielo se derretirá y absorberá así todo el calor que le sea comunicado; en virtud de esta fuente continua de derretimiento del hielo, todos los puntos interiores de su masa sucesivamente llegarán a la superficie, y en esta posición éstos comenzarán a experimentar otra vez la acción del calor de los cuerpos circundantes.

Uno se puede imaginar un ambiente cuya temperatura esté por encima de cero, una esfera de hielo hueca, a la temperatura de cero grados, y en el interior de la cual se coloca un cuerpo calentado a un grado cualquiera; siguiendo lo que acabamos de decir: que el calor exterior no penetrará en la cavidad de la esfera, y que el calor del cuerpo no se saldrá hacia afuera y se detendrá en la superficie interna de la cavidad de la que se derretirán continuamente las nuevas capas, hasta que la temperatura de este cuerpo alcance nuevamente el cero, no queda duda

de que el derretimiento del hielo interior es debido al calor perdido por el cuerpo y no a otras causas, porque el hielo está garantizando la impresión de calor en el espesor del hielo que lo separa del ambiente, y por la misma razón, se puede asegurar que todo el calor que se disipa del cuerpo es detenido por el hielo interior y únicamente se utiliza en el derretimiento. De allí se deduce que, si se recoge con cuidado el agua contenida en la cavidad de la esfera, cuando la temperatura del cuerpo llegue a cero, su peso será exactamente proporcional al calor que este cuerpo haya perdido en el paso de su temperatura inicial a la temperatura de fusión de hielo; porque es evidente que una cantidad doble de calor debe derretir dos veces más de hielo, por lo que la cantidad de hielo derretido es una medida muy precisa del calor utilizado para producir este efecto.

Ahora nada es más simple que la determinación de los fenómenos de calor. Por ejemplo ¿Queremos saber el calor específico de un sólido? Como acabamos de decir, se elevará su temperatura de un número cualquiera de grados, y al colocarlo en el interior de la esfera, se le dejará hasta que su temperatura se reduzca a cero, y se recogerá el agua que su re-enfriamiento habrá producido; esta cantidad de agua, dividida por el producto de la masa del cuerpo y el número de grados de su temperatura inicial que estaba por encima de cero, será proporcional a su calor específico.

En cuanto a los fluidos, se les contendrá en recipientes de los que se puedan determinar las capacidades del calor, y la operación será la misma que para los sólidos, de modo que, para tener cantidades de agua que sean debidas al enfriamiento de los fluidos, habrá que restar a las cantidades de agua recogida aquellas cantidades que los recipientes debían producir.

¿Queremos saber el calor que se desprende en la combinación de varias sustancias? Se

les disminuirá a todas ellas -así como al recipiente que les contiene- a una temperatura de cero; enseguida se pondrá su mezcla en el interior de la esfera de hielo, teniendo cuidado de mantenerla hasta que su temperatura sea nula; la cantidad de agua recogida en esta experiencia será la medida del calor que ha sido liberado.

Para medir el grado de frío producido en ciertas combinaciones, tales como la disolución de sales, se elevarán cada una de las sustancias a una misma temperatura, que llamaremos m grados del termómetro; luego se les mezclará al interior de la esfera y se observará la cantidad de hielo derretido por el re-enfriamiento de la mezcla hasta cero; y sea a esta cantidad. Para conocer el número de grados que ha bajado la temperatura de las sustancias en su mezcla, por encima de su temperatura inicial m , se elevará la temperatura de la mezcla un número cualquiera de m' grados, y se observará la cantidad de hielo derretido por su enfriamiento hasta cero; sea a' esta cantidad. Esto se hace, porque a una cantidad a' de hielo derretido corresponde una temperatura m' de la mezcla, es evidente que la cantidad de hielo derretido debe corresponder con una temperatura igual a $(a/a') m'$; esta temperatura es aquella que resulta la mezcla de sustancias elevadas a la temperatura m ; al restar el resultado de m , se tendrá $(a' m - a m) / a'$ para el número de grados de frío producidos por la mezcla.

Se sabe que los cuerpos absorben calor al pasar del estado sólido al estado líquido, y que al regresar del estado líquido al estado sólido lo devuelven al ambiente y a los cuerpos circundantes; para determinarlo, representemos por m el nivel del termómetro sobre un cuerpo que comienza a fundirse; al calentarlo al grado $m - n$, y al colocarlo enseguida al interior de la esfera, mientras se enfría a cero, hará derretir una cantidad de hielo que llamaremos a ; al calentarlo hasta el grado $m + n'$; el derretirá, mientras se enfría,

una cantidad de hielo que llamaremos a' ; al final, al calentarlo hasta el grado $m + n''$, en su enfriamiento derretirá una cantidad de hielo que llamaremos a'' . Planteado esto, se tendrá que $a'' - a'$ es la cantidad de hielo que puede derretir el cuerpo en estado líquido, al enfriarse de $n'' - n'$ grados; de esto se deduce que en el enfriamiento de n' grados se hará derretir una cantidad de hielo equivalente a $n' (a - a') / (n'' - n')$. Se encontrará paralelamente que el cuerpo, en su enfriamiento de m grados en estado sólido, derretirá el hielo en la cantidad $m a / (m - n)$; si se nombra x la cantidad de hielo que puede derretir el calor producido por el cuerpo en su paso del estado líquido en estado sólido, se tendrá que la cantidad total de hielo que se derrite por un cuerpo calentado hasta $m + n'$ grados, será $n'(a'' - a') / (n'' - n') + x + m a / m - n$.

El primer término de esta cantidad es debido al calor liberado por el cuerpo, antes de su paso al estado sólido; el segundo término es el efecto del calor que se desarrolla al momento de este paso, y el tercer término es debido al calor perdido por el cuerpo en su estado sólido, al enfriarse hasta cero. Si se iguala la cantidad anterior con la cantidad reservada a' de hielo derretido, se tendrá $n' (a'' - a') / (n'' - n') + x + m a / m - n = a$, de donde se obtiene que $x = (n'' a' - n' a'') / (n'' - n') - m a / m - n$; para la exactitud del resultado, es ventajoso hacer n y n' poco significativas.

No sólo el valor de x estará dado por esta experiencia; se tendrán también los calores específicos del cuerpo en sus dos estados de solidez y fluidez, puesto que se conocen las cantidades de hielo que pueden derretir en estos dos estados, al enfriarse (el fluido) un número determinado de grados.

La determinación del calor que se desarrolla en la combustión y en la respiración no ofrece mayor dificultad; se quemarán los materiales combustibles en el interior de la esfera; se dejará respirar animales; pero, como la

renovación del aire es esencial en estas dos operaciones, será necesario establecer una comunicación entre el interior de la esfera y el ambiente que le rodea; y, para que la introducción de un nuevo aire no provoque ningún error significativo en los resultados, se tendrán que hacer estas experiencias a unas temperaturas un poco distintas de cero, o, al menos, reducir esta temperatura a la del aire que se introduce.

La búsqueda de calor específico de diferentes gases es más difícil, a causa de su poca densidad; porque si uno se contenta con encerrarlos en recipientes como los de otros fluidos, la cantidad de hielo fundido sería muy poco considerable, de modo que el resultado del experimento sería muy incierto. Pero, si en el interior de la esfera se coloca un tubo rizado en forma de espiral, al generar en este tubo una corriente de aire de naturaleza cualquiera, y por medio de dos termómetros ubicados en esta corriente, el uno a la entrada y el otro a la salida de la esfera, se determina el número de grados de los cuales el aire se enfría en el trayecto, se podrá enfriar de este modo una masa considerable de aire y determinar con precisión su calor específico: el mismo proceso puede usarse para tener la cantidad de calor que se libera en la condensación de los vapores de diferentes fluidos.

Se ve, por el detalle en el que hemos entrado, que el método anterior se extiende a todos los fenómenos en los cuales hay emisión o absorción de calor. Podemos siempre, en estos diferentes casos, determinar las cantidades de calor que se liberan o se absorben, y relacionarlos con una unidad común. Por ejemplo, el calor necesario para elevar una libra de agua de cero a 80 grados; así se podrá conocer y comparar entre ellos las cantidades de calor que producen las combinaciones de aceite del vitriolo⁴ con agua, con cal

4 La palabra vitriolo se deriva de vidrio, el aceite de vitriolo fue lo que hoy se denomina ácido sulfúrico, y

viva⁵, de cal viva con ácido nitroso, etc.; aquellos que se disipan en la combustión de fósforo, de azufre, de carbón, de piróforo⁶, etc.; en la detonación de nitro, en la respiración de los animales, etc.; lo que era imposible por los medios hasta ahora conocidos.

Hemos considerado una esfera de hielo para hacer entender mejor el método que ponemos en uso. Sin embargo, sería muy difícil obtener esferas similares y las hemos reemplazado mediante la siguiente máquina. Ver planchas I y II.

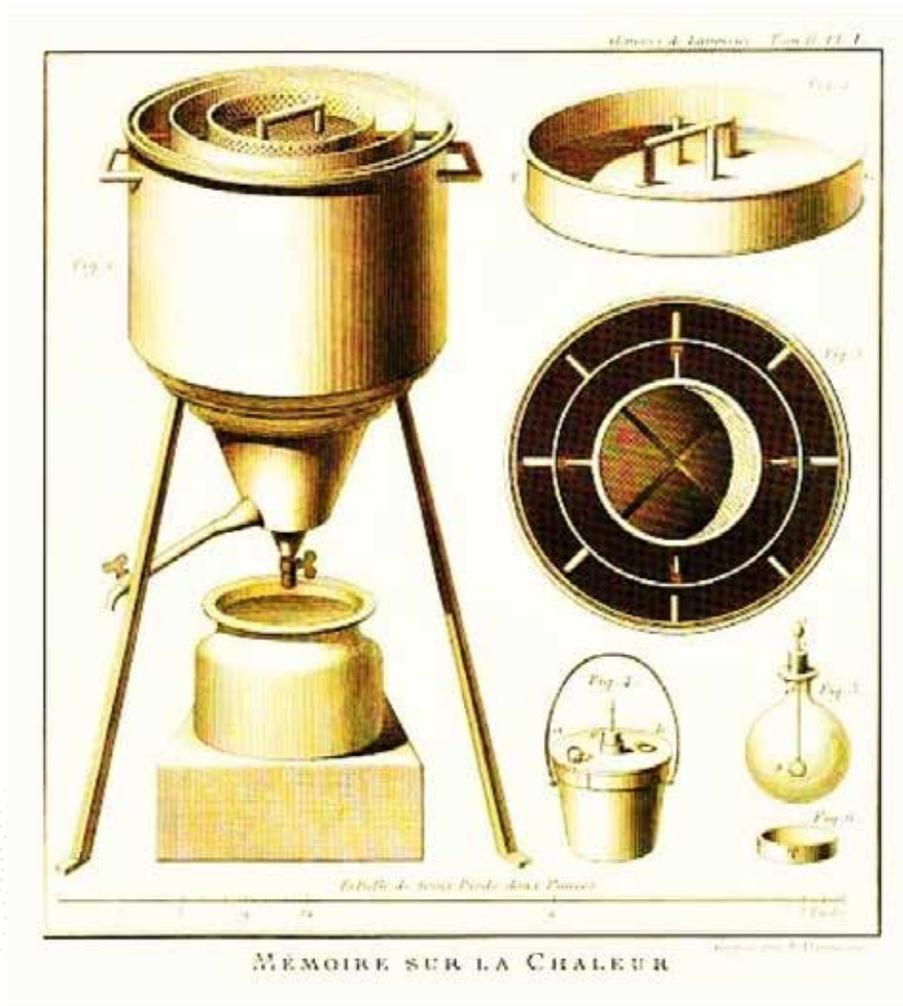
La figura 1 de la plancha I representa esta máquina vista en perspectiva; la figura 3 representa el corte horizontal; el corte vertical, representado en la plancha II, fig. 1, se ve su interior.

Su capacidad se divide en tres partes; para hacernos entender mejor, les distinguiremos con los nombres de contenedor interior, contenedor medio y contenedor exterior. El contenedor interior (fig. 1 y 3, plancha II) está formado por una malla de hilos de hierro sostenido por algunas cantidades del mismo metal, es en este contenedor que ponemos los cuerpos conforme a la experiencia; su parte superior L M se cierra con una tapa H G representada por separado (plancha II, fig. 2). Es enteramente abierta arriba, y abajo está formada por una de malla de hilos de hierro.

El contenedor medio *ffff* (fig. 1, plancha II) está diseñado para contener el hielo que debe rodear el contenedor interior, y que se debe derretir al calor del cuerpo puesto en la experiencia: este hielo es soportado y retenido por una rejilla *mm*, debajo de la cual hay un tamiz *nn*; una y otro están representados por separado (ver plancha II, fig. 4 y 5). A

-
- vitriolo era la generalización para lo que hoy llamamos diferentes sulfatos.
- 5 Cal viva es el óxido de calcio y óxido de calcio y magnesio.
- 6 Sustancia que se inflama al contacto con el aire.





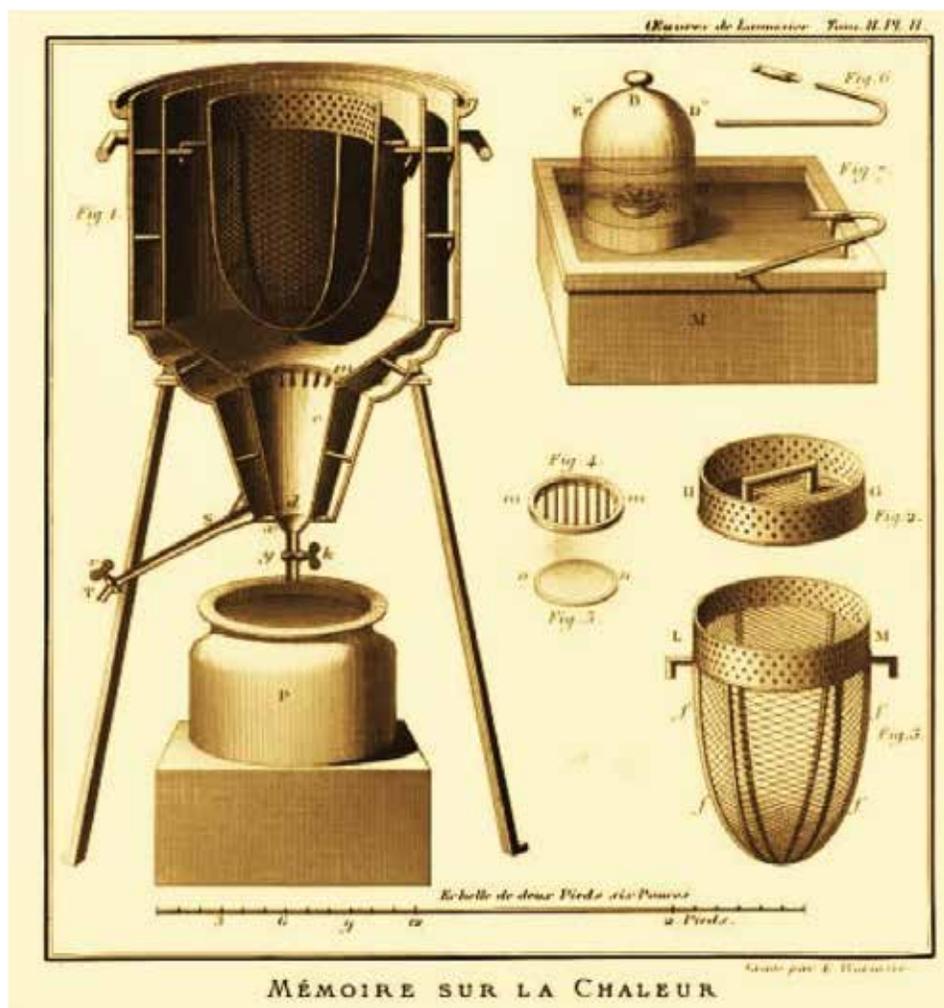
Plancha I.

medida que el hielo se derrite por el calor del cuerpo colocado en el contenedor interior, el agua fluye a través de la rejilla y el tamiz; cae enseguida a lo largo del cono $c c d$ (plancha II, fig. 1) y de la manguera $x y$, y se recoge en el recipiente P ubicado debajo de la máquina; k es una llave (grifo) a través de la cual uno puede detener a voluntad el caudal de agua interior. Por último, el contenedor exterior $a a a$ está diseñado para recibir el hielo que debe detener el efecto del calor del aire exterior y de los cuerpos circundantes; el agua que produce la fusión de este hielo fluye a lo largo de la manguera $S T$, que puede abrir o cerrar a través de llave (grifo) r .

Toda la máquina está cubierta por la tapa $F G$ (plancha I, fig. 2) completamente abierta en

su parte superior y cerrada en su parte inferior. Está compuesta de hierro blanco (latón) pintado con pintura de aceite para evitar la herrumbre.

Para desarrollar la experiencia, se llenan de hielo triturado el contenedor medio y la cubierta $H I$ del contenedor interior, el contenedor exterior y la cubierta $F G$ de toda la máquina entera. Entonces se deja drenar el hielo interior (llamamos así a aquel que está encerrado en el contenedor mediano y en la cubierta interior, y se debe ser cuidadoso de aplastar y presionar con firmeza en la máquina); cuando haya drenado lo suficientemente, se abre la máquina para colocar el cuerpo con el que se quiere experimentar, y se cierra inmediatamente. Se espera a que



Plancha II.

el cuerpo se haya enfriado completamente y que la máquina esté drenando suficientemente; enseguida se pesa el agua recogida en el recipiente *P*. Su peso medirá exactamente el calor liberado por el cuerpo; porque es visible que este cuerpo está en la misma posición como en el centro de la esfera de la cual hemos hablado, puesto que todo su calor es detenido por el hielo interior, y que este hielo garantiza la impresión de cualquier otro calor por el hielo encerrado dentro de la cubierta y del contenedor exterior.

Las experiencias de este tipo duran quince, dieciocho o veinte horas; a veces, para acelerar, ponemos hielo bien drenado en el recipiente interior, y cubrimos el cuerpo que queremos enfriar.

La Figura 4 de la plancha I representa un cubo de metal destinado a recibir los cuerpos sobre los que se quiere operar; está rematado con una tapa *ab*, perforada y cerrada con un corcho *c*, atravesado por el tubo de un pequeño termómetro.

La Figura 5 de la plancha I representa un frasco de vidrio cuya tapa está atravesada por el tubo *cd* del pequeño termómetro *sr*; se deben usar recipientes similares (de vidrio) cuando se opera sobre los ácidos y, en general, sobre las sustancias que pueden tener algún efecto sobre los metales.

T (Fig. 6 plancha I) es un pequeño cilindro hueco que se hace llegar hasta el fondo del contenedor interior para sostener los recipientes.

Es fundamental que en esta máquina, no haya ninguna comunicación entre el contenedor medio y el contenedor exterior, lo que se probará fácilmente al reemplazar el agua del contenedor exterior. Si hay comunicación entre estos contenedores, el hielo derretido por el ambiente, cuyo calor está en la envoltura del contenedor externo, podría pasar hacia el contenedor medio, y entonces el agua que fluye desde este último contenedor no mediría el calor perdido por el cuerpo puesto en la experiencia.

Cuando la temperatura del ambiente está por encima de cero, su calor difícilmente puede llegar hasta el contenedor medio, ya que es detenido por la capa de hielo de la cubierta y del contenedor exterior; pero, si la temperatura exterior está bajo cero, el ambiente podría enfriar el hielo interior; por lo tanto, es esencial operar en un ambiente cuya temperatura no esté por debajo de cero: así, en un tiempo helado, se deberá encerrar la máquina en un apartamento que aseguré el calentamiento interior; es necesario que el hielo que se usa no esté por debajo de cero. Si es este el caso, se le debe triturar, extenderlo por capas muy delgadas, y mantenerlo así durante algún tiempo, en un lugar cuya temperatura esté por encima de cero.

El hielo interior aún conserva una pequeña cantidad de agua adherida a su superficie, y uno podría pensar que esta agua debe entrar el resultado de nuestras experiencias; pero cabe señalar que al principio de cada experimento todo el hielo ya está impregnado con la cantidad de agua que entonces

puede retener; de suerte que si una pequeña parte del hielo derretido por el cuerpo sigue estando adherida al hielo interior, la misma cantidad de agua inicialmente adherida a la superficie del hielo, o una muy cercana, debe separarse y verterse en el recipiente *P*, porque la superficie del hielo interior cambia muy poco en esta experiencia.

Hemos tomado algunas precauciones, era imposible impedir que penetrara aire exterior en el contenedor interior; cuando la temperatura es de 9 a 10 grados, el aire contenido en este contenedor es específicamente más pesado que el aire exterior; fluye a través de la manguera *xy*, y es reemplazado por aire exterior que entra por la parte superior de la máquina y deja una parte de su calor en el hielo interior. Se establece entonces que en en la máquina, una corriente de aire actúa más rápido que la temperatura exterior y es considerablemente mayor, lo que derrite continuamente el hielo interior. Se puede detener, en gran parte, el efecto de esta corriente al cerrar la llave *k*; pero es mucho mejor operar solamente cuando la temperatura exterior no sobrepase los 3 o 4 grados; porque observamos que, en ese caso, el derretimiento del hielo interior causado por el ambiente no es sensible, así que podemos, a esta temperatura, dar cuenta de la exactitud de nuestras experiencias sobre los calores específicos de los cuerpos, una cuarentava parte, e incluso una sexagésima parte, si la temperatura exterior es de sólo uno o dos grados.

Nosotros construimos dos máquinas similares a la que acabamos de describir; una

de ellas está destinada a experiencias en las que no es necesario renovar el aire interior; la otra máquina se utiliza para experiencias en los que la renovación del aire es indispensable, tales como la combustión y la respiración; esta segunda máquina no difiere de la primera sino en que ambas tapas se perforan con dos orificios, a través del cual pasan dos pequeños tubos que sirven de comunicación entre el aire interior y exterior. Se puede, por sus propios medios, soplar aire sobre materiales combustibles; estos tubos están representados en la figura 2 de la primera plancha.

Ahora exponemos el resultado de las principales experiencias que hemos hecho mediante el uso de estas máquinas⁷.

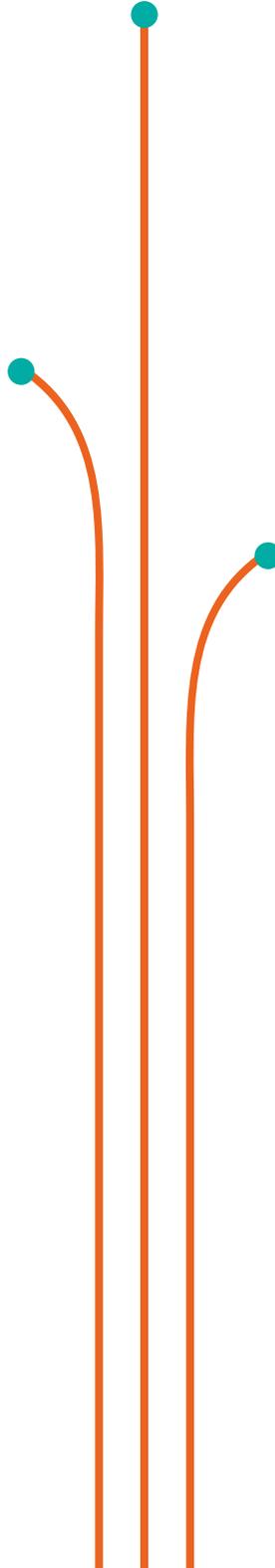
.....

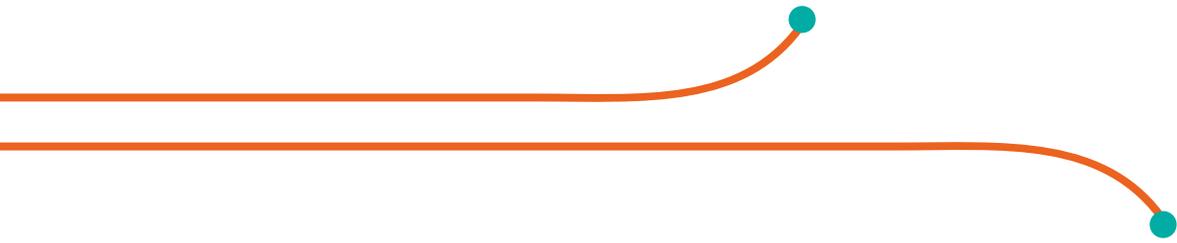
7 Desde la lectura de esta memoria, vimos, en una tesis muy interesante de M. Vilke sobre el calor -que está impresa en las memorias de Estocolmo para el año 1781- que este sabio físico había pensado antes que nosotros la idea de usar el derretimiento de la nieve para medir el calor de los cuerpos. Pero la dificultad de recoger el agua producida por el deshielo de la nieve; el tiempo considerable que cuerpos emplean para perder su calor, y que, según nuestras experiencias pueden ser doce horas y más aún; el calor que la nieve recibe de la atmósfera y de los demás cuerpos que la rodean, durante este intervalo; todas estas fueron las razones que le obligaron a abandonar este camino, y a recurrir al método de las mezclas, por lo que él no intentó aislar la nieve que los cuerpos deben derretir, con una capa externa de nieve o hielo que la guardase del calor de la atmósfera. Es en este aislamiento exterior en el que se encuentra la principal ventaja de nuestras máquinas, ventaja que nos ha puesto al alcance de medir las cantidades de calor que, hasta ahora, no se podían medir, como el calor que se desprende en la combustión y la respiración. Por lo demás, en estos experimentos el hielo es preferible a la nieve.





Reseñas de
tesis





Hacia un análisis histórico-epistemológico de la óptica: el caso de propagación y refracción de la luz.

Cerquera Cuéllar, Martha Yaneth. Trabajo de investigación maestría. Director: Edwin García, PhD. Área de Educación en Ciencias Naturales y Tecnologías, Universidad del Valle, Maestría en Educación, 2007.

El trabajo pretende brindar a los maestros elementos de reflexión sobre la relación historia y enseñanza de las ciencias como un campo conceptual que fortalezca los procesos de intervención en el aula, en especial para el campo de la enseñanza de la óptica y el fenómeno de propagación y refracción de la luz. El conocimiento de la historia de las ciencias permite al maestro establecer una relación más significativa con la ciencia que enseña, pues le permite acceder a las diferentes formas de construcción de su disciplina. En estos saberes convergen las diversas edificaciones y explicaciones para la comprensión del mundo natural, los intereses de quienes las construyen, la visión de mundo que les asiste y los problemas que pulsaron la construcción del conocimiento científico. Si no se consideran, el conocimiento científico suele aparecer como una construcción arbitraria. Consideraciones que tampoco se tienen en cuenta en la estructuración de los textos escolares siendo aspectos fundamentales para la comprensión del por qué de las diferentes connotaciones dadas a las leyes, teorías y principios en el conocimiento científico y que a la hora de ser enseñados deben ser presentados coherentemente. En términos generales, la falta de una relación más dinámica entre el maestro y el conocimiento que imparte constituye, entre otras, la principal dificultad para que los maestros afectados se impliquen en actividades innovadoras. Este trabajo de investigación plantea una alternativa de solución a dicha problemática, desarrollando tres momentos en el pro-

ceso de investigación de manera articulada: 1. construcción de un análisis histórico-epistemológico del conocimiento en torno al fenómeno de propagación y refracción de la luz en el campo de la óptica; 2. análisis a los textos escolares de física respecto a la óptica para identificar las limitaciones de los mismos, así como el rol que juega el maestro de ciencias de acuerdo al uso que este les da y 3. Diseño de algunas orientaciones para los maestros que permitan enriquecer y ampliar su mirada en la enseñanza de la óptica.

Elementos para una propuesta alternativa de enseñanza de las ciencias naturales: un caso a partir de la teoría celular.

López Cobo, Yadira. Trabajo de investigación maestría. Director: Edwin García, PhD. Área de Educación en Ciencias Naturales y Tecnologías, Universidad del Valle, Maestría en Educación, 2007.

El trabajo investigativo contiene una parte introductoria en donde se recopila y analiza la información que justifica y estructura la selección del problema abordado, la cual está conformada por el planteamiento del problema, la justificación, la hipótesis, los propósitos y los antecedentes; seguidamente, aparece el capítulo I que muestra las imágenes de ciencia desde la historia, la filosofía y la enseñanza y se hace un contraste entre las imágenes positivista y relativista de ciencia, la primera implícita en la enseñanza tradicional y la segunda en la enseñanza alternativa; luego en el capítulo II aparece el marco teórico pedagógico que presenta un contraste entre la enseñanza tradicional y alternativa de las ciencias, basada esta última en la imagen de la ciencia como actividad de construcción de explicaciones; en el capítulo III, se recoge el marco teórico científico en el cual se realiza un análisis histórico – crítico de los autores de la primera Teoría Celular con el fin de conocer la dinámica



que se dio en la construcción de dicha teoría; y finalmente, en el capítulo IV está la metodología, los criterios curriculares derivados del anterior análisis, la secuencia de actividades para la enseñanza de la Teoría Celular desde un enfoque alternativo derivada de esos criterios curriculares y las conclusiones.

Importancia de la historia y la epistemología de la ciencia para la enseñanza aprendizaje de la física: un caso en electricidad estática.

Bravo Ramírez, Claudia Patricia. Trabajo de investigación maestría. Director: Edwin García, PhD. Área de Educación en Ciencias Naturales y Tecnologías, Universidad del Valle, Maestría en Educación, 2008.

El problema en general, hace referencia a construir desde la historia de las ciencias actividades educativas científicas como solución a las diferentes dificultades de aprendizaje de conceptos científicos a través de un fenómeno físico. En este sentido se quiere hacer referencia a la construcción histórica y epistemológica de los conceptos de la electricidad estática desde Benjamin Franklin, como consecuencia de un proceso de construcción de significados de varios fenómenos como la producción de electrización y los efectos de atracción y repulsión eléctrica, y conceptos como el de carga eléctrica, conducción e inducción de la electricidad, comportamiento dual de la electricidad y principio de conservación de la electricidad, que son conceptos básicos y fundamentales para comprender y poder explicar de manera significativa la electricidad estática. Además, el problema anterior exige como hipótesis, asumir que el uso de la historia y la epistemología de las ciencias considerada educativamente, permite pensar y construir actividades educativas científicas como solución frente a las dificultades de aprendizaje y enseñanza de la electricidad estática.

Elementos históricos epistemológicos desde Kuhn que permiten la identificación de aportes para la enseñanza de la combustión.

Cabrera Castillo, Henry Giovany. Trabajo de investigación maestría. Director: Alfonso Claret Zambrano, PhD. Área de Educación en Ciencias Naturales y Tecnologías, Universidad del Valle, Maestría en Educación, 2010.

Actualmente, existe un consenso en educación en ciencias acerca de la relevancia de la perspectiva histórica epistemológica en la formación científica y por eso en los últimos años se ha verificado una progresiva incorporación de la historia de las ciencias (a partir de ahora HC) y la epistemología de las ciencias (a partir de ahora EC) tanto a la teoría como a la práctica de la enseñanza de ciencias. En concordancia con lo anterior se han realizado investigaciones las cuales muestran tres tendencias: en la primera se ubican las investigaciones que utilizan la HC y la EC pero no dan recomendaciones o sugerencias sobre cómo hacer el recorrido histórico (Valera, et al., (1983), Solbes y Traver (1996), Solbes y Traver (2001)), en la segunda tendencia aparecen las investigaciones que utilizan la HC, la EC y el modelo de Kuhn pero no dicen explícitamente cuáles son los elementos históricos epistemológicos que se encuentran en la obra de Kuhn que permitan encontrar aportes para la enseñanza de las ciencias (Posner, et al (1992), Hernández y Ruíz (2000) y Chávez (2004)), finalmente, aparece el trabajo de Guerrero (2001) quien es enfático al decir que no pretende recoger una experiencia particular en el campo de la enseñanza de las ciencias inspirada en los planteamientos de Kuhn, sino que busca presentar sus ideas más penetrantes y que considera tienen una incidencia más directa en la enseñanza de las ciencias, es decir, solo se queda en aspectos teóricos y no ponen en práctica el modelo

Kuhniano. Las dos últimas tendencias revelan la importancia que ha tenido Kuhn en la HC y la EC. Laudan (1990) refiriéndose a lo anterior dice que “Kuhn fue un estudioso que ha repercutido en la comunidad intelectual más que cualquier otro historiados de la ciencia en el siglo XX, quizá aún más que cualquier historiador general de su generación.

Historia y epistemología de la química en la selección y secuenciación de contenidos: la construcción del concepto de átomo.

Zuluaga Trujillo, Carlos Humberto. Trabajo de investigación maestría. Director: Alfonso Claret Zambrano, PhD. Área de Educación en Ciencias Naturales y Tecnologías, Universidad del Valle, Maestría en Educación, 2010.

La presente investigación aborda el problema de ¿Cómo el estudio de la historia y epistemología del conocimiento de la química nos permite diseñar una propuesta de secuenciación de contenidos? Dicho problema se justifica al reconocer las problemáticas asociadas al modelo de secuenciación tradicional de contenidos reconocido para la enseñanza de la química, igualmente al reconocer el aporte que puede hacer la historia y epistemología de la ciencia como marco de referencia en la generación de propuestas para renovar la enseñanza, aprendizaje y evaluación de las ciencias. Es así que se sugiere como hipótesis de trabajo que el análisis histórico epistemológico de la química permite la elaboración de una propuesta de secuenciación de contenidos. Para comprobar dicha hipótesis se propone la elaboración del análisis histórico epistemológico de uno de los conceptos fundamentales para el estudio de la química: el concepto de átomo. A partir del estudio de algunos historiadores y epistemólogos de la ciencia y de la química en particular, se definen unos criterios para el análisis

epistemológico, que sirven para reconstruir la historia de formación del concepto átomo bajo un modelo que parte de las problemáticas que le dieron origen en la cultura grecorromana, hasta la consolidación de una teoría en 1808 por John Dalton. Lo anterior permite reconocer unos elementos que se configuran en un modelo de construcción del concepto que llevado al aula se traduce en el diseño de una propuesta de selección y secuenciación de contenidos para su enseñanza.

El concepto de ser vivo: una relación entre el pensamiento del estudiante y el desarrollo histórico de la ciencia.

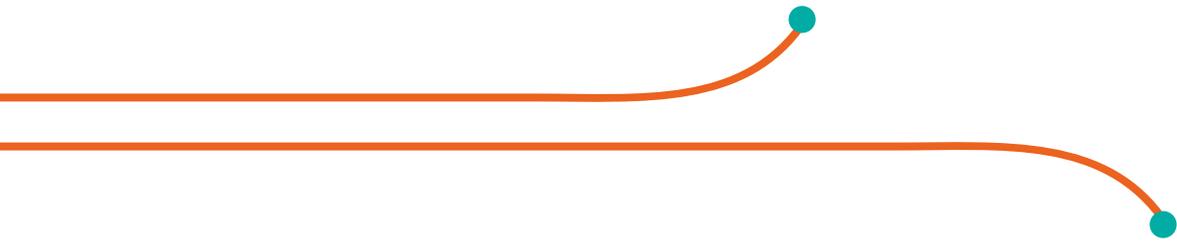
Medina Cobo, Orlando. Trabajo de investigación maestría. Director: Alfonso Claret Zambrano, PhD. Área de Educación en Ciencias Naturales y Tecnologías, Universidad del Valle, Maestría en Educación, 2011.

La finalidad del trabajo de investigación es determinar el pensamiento de los estudiantes de secundaria y contrastarlo con el proceso histórico de construcción del concepto de ser vivo, lo que permite explicar a partir de la historia del concepto, la construcción del conocimiento en la escuela, generando elementos que puedan aportar a la enseñanza y aprendizaje del concepto en mención. La investigación se justifica fundamentalmente en tres aspectos: 1. En Colombia existen pocos antecedentes que han abordado la relación entre el conocimiento de los estudiantes y la historia del concepto de ser vivo. 2. El concepto de ser vivo se considera por muchos autores como el eje conceptual articulador de la biología, pese a que otros autores den este valor a la vida o la información genética. 3. Un recorrido histórico del concepto permite comprender como el estudiante construye su conocimiento escolar, esto implica que el desarrollo histórico de las disciplinas científicas sirva como herramienta pedagógica en su enseñanza, aprendizaje y evaluación.



Noticias





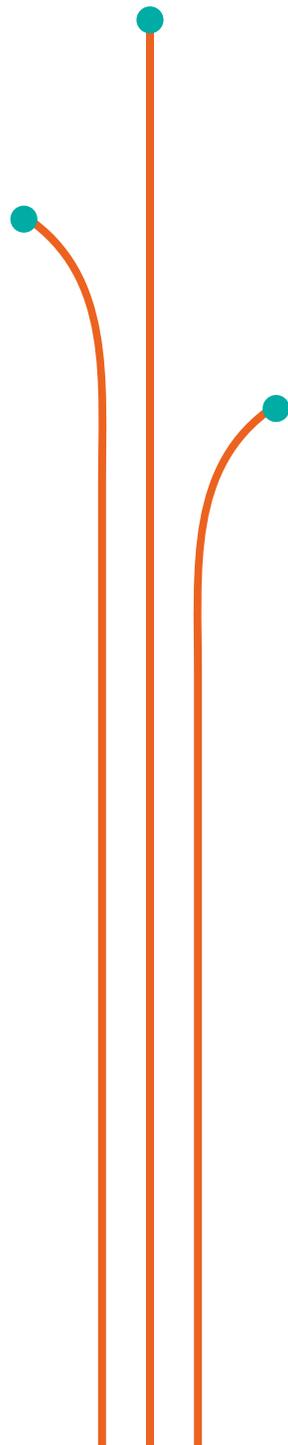
Próximos eventos

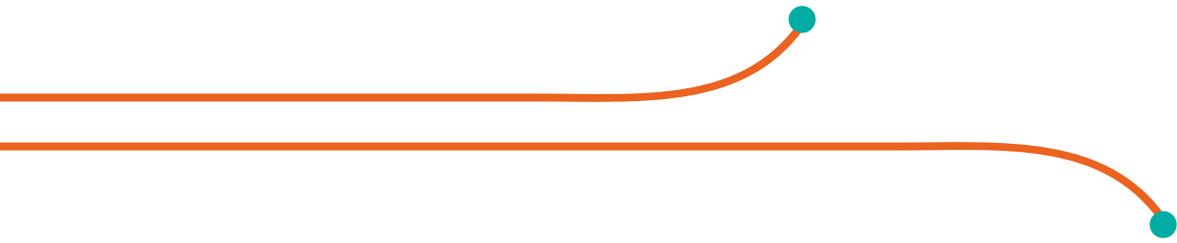
1. Tercer Congreso Latinoamericano de Investigación en Didáctica de las Ciencias, que será celebrado en la ciudad de Montevideo del 6 al 8 de julio del 2016.
2. 25° Congreso Internacional de Historia de la Ciencia y Tecnología (ICHST), que se celebrará en la ciudad de Río de Janeiro, Brasil, del 23 al 29 jul del 2017.





Biografía de los autores





Cassiano Rezende Pagliarini

É Bacharel em Física pela Universidade Estadual de Campinas (2004) e Mestre em Física Básica pela Universidade de São Paulo - Campus de São Carlos (2007). Atuou como professor no ensino fundamental e médio (matemática e física) entre 2007 e 2011. É também licenciado em Física pela Universidade Estadual de Campinas (2011) e atualmente trabalha na área de pesquisa em Ensino de Física, cursando o doutorado no Programa de Pós-Graduação Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática (PECIM) na mesma instituição.

Carmen Andrea Aristizabal Fuquene

Licenciada en Química y Magister en Docencia de la Química de La Universidad Pedagógica Nacional. Actualmente es Doctorante en Educación con énfasis en ciencias de la Universidad Francisco José de Caldas. Docente Investigadora Universidad Autónoma de Colombia, integrante del Grupo de Investigación en Cosmología. Sus aportes a la comunidad académica están en el campo de la Didáctica de las Ciencias, en particular a la formación inicial y avanzada de profesores y la historia y filosofía de las ciencias. Ha publicado los resultados de sus investigaciones en revistas nacionales e internacionales.

Claudia Bravo

Magister en educación con énfasis en enseñanza de las ciencias naturales, se ha desempeñado como profesora de la Universidad del Quindío en el área de física y realiza estudios sobre historia y enseñanza de las ciencias en la misma universidad.

Edwin Germán García Arteaga

Profesor titular de la universidad del valle en Cali, Colombia. Licenciado en física, con maes-

tría en enseñanza de la física de la Universidad Pedagógica Nacional, master en Didáctica de las Matemáticas y las Ciencias Experimentales y Doctor por la Universidad Autónoma de Barcelona. Profesor de didáctica de las ciencias e historia y filosofía de las ciencias en la universidad del Valle. Director del grupo de investigación ciencia, educación y diversidad desde el 2011. Sus publicaciones han sido fundamentalmente en enseñanza de la física y la didáctica de las ciencias experimentales. Sus publicaciones en historia, filosofía y enseñanza de las ciencias son: Recontextualización de saberes: un caso en electricidad estática (2014) Modelos explicativos basados en las prácticas experimentales (2012), Filosofía de las prácticas experimentales y la enseñanza de las ciencias (2010), Historia de las ciencias en textos para la enseñanza (2009), Construcción de conocimiento en torno a las ciencias naturales. (2005), son algunas de ellas.

En la actualidad ha sido convocado como profesor visitante en la Universidad Federal de Rio de Janeiro y la Universidad Estatal de Sao Paulo (UNESP) (2015). Ha sido par evaluador de varias universidades del país y jurado de selección docente en la Universidad del Valle y la Universidad Pedagógica Nacional. Ha sido invitado como conferencista central en los congresos nacionales de enseñanza de la física, Medellín (2009) Bogotá (2011) Pereira (2013) y Cali (2014) y en el congreso de educación en ciencias Educyt, Pasto (2012). Fue director del VIII congreso nacional de enseñanza de la física, Cali (2014). Ha sido evaluador de innumerables trabajos de grado y tesis de maestría y doctorado en varias universidades del país y director de trabajos de grado y posgrado en educación en ciencias naturales en la universidad del Valle. Actualmente realiza proyectos de investigación en la relación entre el conocimiento científico y la educación ambiental con Brasil y la importancia de las prácticas experimentales en la formación de profesores de ciencias con la universidad de Antioquia.



Germán Guerrero Pino

Germán Guerrero Pino es profesor titular nombrado del Departamento de Filosofía, Universidad del Valle, desde 1995. Obtuvo su título de doctor en filosofía en la Universidad Complutense de Madrid (Madrid-España) bajo la dirección del profesor Javier Echeverría Ezponda; es magister en filosofía de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá-Colombia), magister en docencia de la física de la Universidad Pedagógica Nacional (Bogotá-Colombia) y licenciado en matemáticas y física, también de esta última universidad. Es el director del grupo de investigación *Episteme: Filosofía y Ciencia* y actualmente es Vicedecano de investigación y posgrado de la Facultad de Humanidades y Director del Doctorado en Humanidades.

El profesor Guerrero tiene una alta producción académica e investigativa, representada en artículos en revistas nacionales e internacionales, capítulos de libros especializados y, además, ha ofrecido un buen número de conferencias en instituciones universitarias. Libros publicados: *Introducción a la filosofía de la ciencia. Documentos de trabajo* (2015, 4º ed.), *Naturaleza y Estructura de las Teorías Científicas* (2011), *La Complementariedad: una filosofía para el Siglo XXI* (con Jairo Roldán Ch. y Yoav Ben-Dov, 2004) y *Estudios kuhniannos* (2003). Compilaciones publicadas: (con Luz Marina Duque) *Filosofía de la ciencia. Problemas contemporáneos* (2015), *Einstein: Científico y Filósofo* (2011), (con Luz Marina Duque) *Experiencias en la enseñanza de las ciencias naturales orientadas epistemológicamente* (2011), *Entre ciencia y filosofía: algunos problemas actuales* (2008), *Variaciones sobre temas de Feyerabend* (2006) de Gonzalo Munévar y editor y cotraductor, con Gonzalo Munévar, de *Conocimiento radical: Una investigación filosófica de la naturaleza y límites de la ciencia* (2003) de Gonzalo Munévar.

José Francisco Malagón Sánchez

Profesor del Departamento de Física de la Universidad Pedagógica nacional. Licenciado con estudios principales en física y magister en Docencia de la Física. Miembro del Grupo Física y Cultura. Actualmente coordina el proyecto de investigación Procesos de Formalización, Representación y Construcción de Fenomenologías en la Enseñanza de las Ciencias.

Leonardo Andrés Cortez Ruiz.

Licenciado en Biología de La Universidad Pedagógica Nacional. Donde perteneció al Semillero de Jóvenes Investigadores. Actualmente cursa la maestría en Didáctica de las Ciencias en la Universidad Autónoma de Colombia: Docente de educación básica y media vinculado a la Secretaría de Educación Distrital. Sus aportes a la comunidad académica están en el campo de la Evaluación de Competencias y Habilidades del Pensamiento de Operaciones Mentales y Funciones Cognitivas siendo coautor de dos publicaciones.

Maria José P. M. de Almeida

Na Universidade Estadual de Campinas é professora do programa de Pós-graduação Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática e do programa de Pós-graduação em Educação, no qual é coordenadora da linha de pesquisa Educação em Ciências, Matemática e Tecnologias. É líder do grupo de estudo e pesquisa em Ciência e Ensino - gepCE. Atua na área de Educação e Ensino da Ciência, principalmente em: Ensino de Ciências/Física e Linguagens; Formação de Professores e Ensino e Práticas Culturais. É Livre Docente e Titular em Metodologia de Ensino: Física, pela Universidade Estadual de Campinas. Concluiu Pós-doutorado (1997), Doutorado em Ciência (1987), Mestrado em Psicologia (1979) e Licenciatura em Física (1967) na Universidade de São Paulo. Orientou dezessete dissertações de mestrado e onze teses de doutorados

já defendidos e foi supervisora de dez pós-doutorados. Foi editora do jornal impresso *Ciência & Ensino* (Unicamp) de 1996 a 2004. Foi membro da comissão de Pesquisa em Ensino de Física da Sociedade Brasileira de Física (2010 -2012) É pesquisadora do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq. Lecionou em escolas de ensino básico e trabalhou na Fundação Brasileira para o desenvolvimento do Ensino de Ciências e no Centro de Formação de Professores de Ciências em São Paulo.

María Mercedes Ayala Manrique

Estudios de licenciatura en física y matemáticas de la Universidad Pedagógica Nacional. Obtuvo los títulos de Bachelor of Arts (Física y Matemáticas) del Whitman College, Estados Unidos y Master of Science en Física de Indiana University, Estados Unidos. Becada por Latin American Scholarship of American Universities. Miembro del Grupo Física y Cultura en el cual ha dirigido varias investigaciones en el campo de los estudios histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Docente de los cursos de pregrado y posgrado del Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional. Es autora de una serie de artículos en el campo de la historia y enseñanza de las ciencias. Ha publicado junto con otros investigadores los libros *“Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos”*, *“El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes”* y *“Construcción de Fenomenologías y Procesos de formalización”*

Marina Garzón Barrios

Docente del Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional. Realizó sus estudios de Licenciatura en Física en la misma universidad, es Máster en Historia de

la Ciencia de la Universidad Autónoma de Barcelona, actualmente cursa sus estudios de doctorado en el programa Práctica Educativa y Comunicación: Didáctica de las Ciencias experimentales y matemáticas de la Universidad de Barcelona. Desarrolla sus actividades de docencia e investigación en las áreas de estudios histórico críticos y re-contextualización de saberes científicos, y de historia de la ciencia y enseñanza de la física, dentro del grupo de investigación Física y Cultura.

Marco Braga

Graduado en Física por la Universidad Federal de Rio de Janeiro – 1985. Doctor en Ingeniería de Producción por la COPPE-UFRJ – 1999. Actualmente es profesor e investigador en el *Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca* – RJ. Líder del grupo de investigación CNPq sobre Historia y Filosofía de la Ciencia en la Enseñanza. Es presidente del comité del *Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica para o Ensino Medio* (PIBID-EM) en el CEFET-RJ. Es co-autor de 11 libros de Divulgación Científica, pertenecientes a las colecciones *“Breve História da Ciência Moderna”* (Jorge Zahar Editor) y *“Ciência en el Tiempo”* (Saraiva-Atual Editora). Miembro del *International History, Philosophy and Science Teaching Group* (IHPST). Chair del *International History, Philosophy and Science Teaching Group Conference* (2015) – Rio de Janeiro. Área de Investigación: Historia, Filosofía y Sociología de las Ciencias – Enseñanza de las Ciencias – Divulgación Científica. Temas de Interés: Difusión de Ciencia y Tecnología – Epistemología de las Ciencias Naturales.

Mayer Lucía Sánchez Benítez

Graduada en Licenciatura en Matemáticas y Física por la Universidad de Antioquia de Medellín – 2011. Título revalidado como Licenciada en Física por la Universidad Federal de Rio de Janeiro – 2014. Estudiante de

Maestría del programa en Ciencia, Tecnología y Educación (PPCTE) en el *Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca* – RJ. Área de Investigación: Historia y Filosofía de las Ciencias – Enseñanza de las Ciencias. Temas de Interés: Epistemología de las Ciencias Naturales - Difusión de Ciencia y Tecnología – Redes Sociales y Análisis de Redes Sociales aplicadas a la educación. Experiencia: En el área de educación, con énfasis en la enseñanza de Matemáticas y Física.

Nubia Pilar Latorre Beltrán

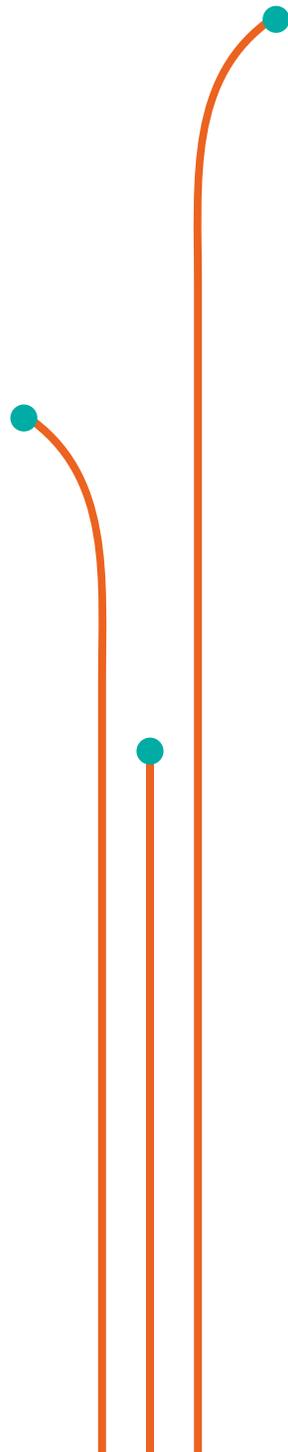
Licenciada en Química de la Universidad Pedagógica Nacional. Participó en Programa de Formación de Pequeños Científicos impartido en la Universidad de los Andes. Docente de educación básica y media vinculada a la Secretaría de Educación Distrital. Actualmente cursa la maestría en Didáctica de las Ciencias en la Universidad Autónoma de Colombia. Sus aportes a la comunidad educativa están enfocados en el desarrollo

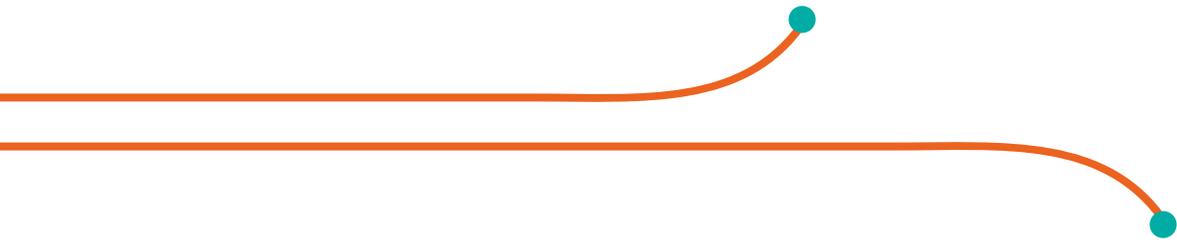
de habilidades científicas enfocadas en la indagación y la ilustración científica.

Nuria Solsona Pairó

Química, Master en Didáctica de las Ciencias Experimentales y Doctora en Ciencias de la Educación. Profesora de Secundaria y de la Universidad Autónoma de Barcelona (España). Autora de numerosos artículos y de publicaciones, como *Mujeres científicas de todos los tiempos*, *La química de la cocina*, *Factores a tener en cuenta para abordar la Coeducación en un centro educativo*, *Los saberes científicos de las mujeres*, *Análisis comparativo de intervenciones formativas sobre el cambio químico*, *Díálogos con recetas alquímicas*, *Marie Curie* y algunas categorías de análisis de las biografías científicas y *La historia de la alquimia*, textos y prácticas. Colaboradora y asesora permanente del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (GRECIA) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra).

Política editorial





La Revista *Física y Cultura. Cuadernos de Historia y Enseñanza de las Ciencias*, en esta nueva fase, es una publicación interinstitucional entre la Universidad del Valle, la Universidad de Antioquia y la Universidad Pedagógica Nacional.

Es una revista en formato físico y digital (*on-line*) dedicada a fortalecer la investigación en torno a la relación Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias y temáticas afines, con el propósito de consolidar una red de investigadores en este campo y aportar a la transformación de las prácticas de la educación en ciencias. Pretende en particular visibilizar y poner a consideración de dicha comunidad el tipo de preguntas, problemas y perspectivas de trabajo que son planteados a la Historia y la Filosofía de las Ciencias desde una preocupación pedagógica, y el tipo de indagación histórica-epistemológica que se emprende con el ánimo de darle concreción a esta relación.

La Revista se publica tres veces al año y considerará para su publicación artículos relacionados con la temática de la Revista en Español, Portugués o Inglés. Las secciones de la revista son los siguientes: 1. Cartas al Editor, donde se exponen posiciones críticas, analíticas o interpretativas sobre los documentos publicados en la revista; 2. Artículos de investigación, que pueden ser de tres tipos: i) texto que presenta de manera detallada los resultados inéditos de proyectos de investigación concluidos, ii) reflexiones resultado de investigación terminada o en marcha, iii) revisión sobre un tópico particular resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas; este último tipo se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias. 3. Ensayos donde se analiza y comenta un tema). 4. Traducción al español de documentos de primera fuente (textos originales); 5. reseñas de libros y tesis, 6. noticias.

La reproducción total o parcial con fines educativos o académicos está autorizada si se indica claramente la fuente. primer apellido, inicial del primer nombre. (año). título del artículo. *Rev. Física y Cultura*, N°. __; p. __-__. La Revista se puede descargar de forma gratuita desde el sitio web de la publicación en formato PDF.

Los textos deben ser elaborados en formato Word posterior a 2007 y remitidos al correo electrónico a: revistafisicaycultura@hotmail.com o subir a la plataforma del Open Journal System de la Revista Física y Cultura que se encuentra en revistas.pedagogica.edu.co

Normas para la remisión de Textos

1. En el correo de envío debe especificarse claramente la fecha de envío. El nombre del archivo adjunto debe contener el apellido del primer autor, seguido del título del texto.
2. Se debe indicar si la contribución es de: Cartas al editor; un artículo de investigación, especificando en cual de los tipos mencionados arriba se inscribe; un ensayo; una traducción; al español de originales; una reseña de libros o de tesis; noticias.
3. Al texto propuesto se le debe anexar un resumen de la hoja de vida de los autores que especifique institución a la que pertenece, títulos académicos, cargos ocupados, grupos o asociaciones a las que pertenece, principales líneas de investigación y un correo electrónico o dirección postal (máximo 2 páginas).
4. Los artículos deben tener una extensión máxima de veinte (20) folios tamaño carta a un espacio de 1,5, en letra Times New Roman 12 puntos, sin estilos, sin espacios antes o después de cada párrafo. Se debe dejar un espacio entre párrafo y párrafo y entre título y párrafo. No utilizar textos en altas (mayúscu-



las sostenida). Títulos en negrilla y subtítulos en negrilla e itálica. Deben llevar el siguiente orden: Título en español o portugués, título en inglés, nombres completos de los autores, afiliación institucional, correo electrónico de los autores, tipo de artículo, resumen en español con entre 450 y 500 palabras, palabras claves (no más de seis), abstract (traducción al inglés del resumen), keywords, introducción, desarrollo de la propuesta y referencias bibliográficas.

5. Las ecuaciones, gráficas y tablas, deben estar insertadas en el cuerpo del escrito y ser suministradas en archivos separados, en Word o Excel y deben ir numeradas y citadas en el documento.
6. Las imágenes y fotografías deben entregarse en archivos independientes, con los nombres correspondientes y en formato TIF o JPEG a una resolución de 300 ppp, con un ancho de 16 cm y en color original. Deben ir enumeradas y referidas en el documento.
7. Las referencias y citas bibliográficas deben ordenarse numéricamente al final del artículo. (usar normas APA). Toda la bibliografía debe estar en orden alfabético y se debe enlistar solamente la referenciada en el documento.
 - i. Paty, M.(1983). *Mathématisation et accord avec l'expérience*. *Fundamenta Scientae*, 5 (1), 31-50.
 - ii. Rankine, M. (1855). *Outline of the science of energetics*. *Proceed of the Philos. Soc. of Glasgow*, (4), [tomo 3].
 - iii. Cassirer, E. (1986). *Fin y método de la física teórica*. México: Fondo de cultura económica.
8. Las reseñas no podrán exceder ocho (8) páginas.
9. Las reseñas de tesis constarán de los siguientes datos: Título, autor(es), tipo de tesis (doctoral o maestría), director(es), departamento, universidad, programa en que se ha presentado, fecha de presentación.
10. El contenido de los textos es de exclusiva responsabilidad de los autores.
11. La recepción de un trabajo no implicará ningún compromiso de la Revista para su publicación.
12. Todos los documentos serán evaluados por dos pares académicos anónimos que tendrá en cuenta los criterios de pertinencia del documento para la revista, así como los parámetros técnicos de estilo y escritura sugeridos.
13. El comité Editorial procederá a la selección de los trabajos de acuerdo a los criterios formales y de contenido de esta publicación.
14. Una vez aprobada una publicación los autores deben enviar una carta con la Declaración ética y cesión de derechos patrimoniales, según el formato establecido por la revista Física y Cultura, donde hacen constar la originalidad del documento puesto a consideración para su publicación, y autorizan su publicación, reproducción, edición, distribución y divulgación a nivel nacional e internacional por impresos, digitales, Internet, CD ROM, en texto completo o parcial.
15. Cualquier información, sugerencia o queja informar al comité de dirección de la revista.