



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

ASPECTOS EPISTEMOLÓGICOS DEL INSTRUMENTO EN QUÍMICA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICA

PRESENTA

Adriana Armendarez Tabares



CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Benjamín Ruiz Loyola
VOCAL: José Antonio Chamizo Guerrero
SECRETARIO: Alfonso Mieres Hermosillo
1er. SUPLENTE: Rolando Javier Bernal Pérez
2º SUPLENTE: Luis Avelino Sánchez Graillet

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México.

ASESOR DEL TEMA:

Alfonso Mieres Hermosillo

SUSTENTANTE :

Adriana Armendarez Tabares

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	6
CAPÍTULO 1. ¿Tiene el instrumento una función retórica?.....	11
CAPÍTULO 2. Caso de estudio: la columna de análisis cromatográfico.....	28
CONCLUSIONES.....	37
REFERENCIAS.....	38

INTRODUCCIÓN

La palabra instrumento proviene del latín. Se relaciona con el verbo *instruere*, que significa construir, equipar o proporcionar (Lazlo, 2000, p.1). Aun cuando esta palabra tiene un uso muy extendido en nuestro idioma, se puede identificar una noción que permanece en el contexto científico: el instrumento es un medio que permite al ser humano extender su capacidad de conocer y modificar el mundo natural. El origen de esta noción nos remite a los inicios del siglo XVI en el noroeste europeo. Hacia el conocimiento del mundo, las doctrinas filosóficas empiristas colocaban a las sensaciones en primer plano, siendo el instrumento un artificio capaz de aumentar sus posibilidades. La validez del instrumento como vehículo de conocimiento y su estatus comparado con el de los sentidos fueron discutidos más adelante, mas el aumento de la capacidad de análisis se volvía un anhelo común. Los sentidos humanos resultaban insuficientes para conocer las propiedades de las entidades que se iban incorporando al bagaje de la ciencia, y la creación y mejora de instrumentos se convirtió en una actividad central no sólo para la investigación, sino para la exploración territorial, la milicia y la producción de máquinas. Los instrumentos, funcionando en diferentes entornos con distintas metodologías experimentales, se desempeñaron como una herramienta heurística de grandes alcances.

Actualmente, una gran cantidad de productos materiales forman parte de la cotidianidad del quehacer científico. Desde los mecheros de gas donde se aprecian hermosos colores al quemar sales de cationes metálicos, que se utilizaron en su momento para generar espectros de energía que coincidían con aquellos obtenidos de la luz de los astros y constituyeron el pilar de los primeros estudios en espectroscopía, hasta los reactores nucleares de cuya energía no pueden prescindir las grandes potencias ni en situaciones políticas críticas ni frente a desastres climatológicos extremos. Sin duda, muchos de estos objetos son herramientas fundamentales en la gestación de teorías y el desarrollo tecnológico en ambientes diversos, pero tras los cambios de paradigma a lo largo de la historia, su función en el discurso de los métodos de la ciencia ha cambiado. Frente a la idea de que el ser humano es capaz de modificar el mundo, se

alzan importantes preguntas sobre la capacidad del instrumento, y del experimento mismo, para describir adecuadamente la realidad.

Considerando lo anterior, es pertinente revisar qué tareas le son asignadas al instrumento y qué se le pide para que el experimento en el que opera sea válido. Si se tiene confianza en sus mecanismos y en sus resultados, ¿qué lo hace confiable? Si no, ¿qué lo limita?

Así, la pregunta que guía esta investigación es: ¿Cuál es el papel del instrumento en la justificación de las aserciones en las que está implicado?

El positivismo lógico tuvo su auge en Viena en la segunda década del siglo XX. Retomó la imagen clásica del método inductivo, según el cual, el experimento ordenado y riguroso es la vía hacia el entendimiento y la sistematización de los fenómenos. Sumó a ello el análisis lógico, por lo que era requerido que el saber existiera en forma de proposiciones. La creación de un reflejo abstracto de lo material mediante el lenguaje, literario o matemático, es esencial y es incentivo de la ciencia positivista. En consecuencia, las operaciones instrumentales tienen el cometido de sistematizar los hechos y mejorarse a sí mismas. Entre ellas tienen gran peso la verificación, la comparación y la optimización.

Luego de los progresos que vivió la física de inicios del siglo XX, la objetividad de las reflexiones del ser humano acerca del mundo se convirtió en tema central de grandes debates. El estudio y la detección de micropartículas y fenómenos energéticos no se parecían a ningún procedimiento experimental antes visto y se puso en duda la existencia misma de objetos y fenómenos. Una respuesta fue defender la objetividad de la ciencia apuntando a que los instrumentos son mediadores de los que se sirve la conciencia:

(...) [N]o podemos estudiar los microobjetos sin estar dotados de los correspondientes aparatos, dado que no somos capaces de aprehenderlos directamente. ¿Pero acaso deriva de ello que los microobjetos no existen objetivamente y son creación de aparatos o del ser humano? (...) debido a que los microcuerpos existen objetivamente, en todos los casos se reflejan en nuestra conciencia a través de los aparatos tal y como realmente son, con independencia de los aparatos

que utilizemos, y un mismo aparato, al accionar sobre diversas partículas, ofrece distintas indicaciones (Andréiev, 1984, p. 24).

Hacia mediados del siglo XX, Karl Raimund Popper (1902-1994), filósofo austriaco, cuestionó la objetividad de la inducción señalando que los científicos no infieren sus teorías de la observación imparcial, sino que los problemas e hipótesis anteriores dirigen las hipótesis experimentales. Además, Popper criticó la tesis de que el único conocimiento posible es el del sujeto cognoscente. Distinguió el conocimiento subjetivo del conocimiento contenido en las teorías, que trasciende la atención consciente del sujeto. Así, dividió la realidad en tres categorías o mundos, situando a los productos de la mente en un dominio nuevo.

El mundo 1 es el mundo físico, donde se encuentran los objetos físicos, perceptibles e imperceptibles. El mundo 2 es llamado el mundo de la experiencia consciente. Es subjetivo e incluye las creencias y el pensamiento. El mundo 3 alberga el contenido lógico de las teorías (Popper, 1972, p. 74). Éste último se vale de términos lingüísticos para formularlas. Popper cree que el lenguaje es la base del mundo 3, pero incluye en él todos los objetos físicos que plasman, difunden o discuten aserciones teóricas; por ejemplo, los libros y las memorias de computadora.

Los mundos de Popper son autónomos, pero interactúan entre sí y sus relaciones son estrechas; los mundos 2 y 3 necesitan de los objetos del mundo 1 para existir, mientras que las percepciones y asociaciones que se originan en el mundo 2 dan lugar a contenidos en el mundo 3. Una vez que el conocimiento subjetivo se retroalimenta de los objetos físicos y las teorías, produce conceptos comunicables, capaces de permanecer en la colectividad para ser evaluados y contestados. La impresión de los objetos en la conciencia es ahora más compleja: no está mediada sólo por instrumentos adecuados o métodos correctos, sino que se configura en varias etapas. La doctrina de los tres mundos introduce una separación entre el conocimiento del sujeto y el conocimiento teórico proposicional, dando independencia al segundo y un marco de acción más amplio.

Davis Baird (2004), se pregunta por la situación de los instrumentos sobre este esquema general. En el desarrollo de su epistemología, busca llamar la atención sobre el lugar que ocupa lo instrumental en el edificio del intelecto. Para él, aun cuando el instrumento no posee la carga semántica de una palabra o un enunciado, sus características y facultades lo clasifican como un elemento del mundo 3 de Popper, junto a otros productos de la reflexión humana. Esto ubica al instrumento en un grado donde es susceptible de discutirse a nivel social, igual que las hipótesis de la ciencia. Su acción es interpretable y modificable. El instrumento trabaja con un tipo de conocimiento práctico, que se manifiesta paralelamente al sustento teórico proposicional, al cual, contra la noción generalizada, no está supeditado.

Al hablar de este conocimiento, de naturaleza material, es preciso reconocer otros lenguajes además del literario en los productos de la ciencia. Inmediatamente surgen dificultades al presentar un tipo de conocimiento que se transmite sin la formalización de la palabra. La supremacía del lenguaje y la idea de que la ciencia se construye a partir de pilares que se suceden heredando cada uno del anterior sólo proposiciones verdaderas y estructuras lógicas perfectas, han relegado otros sistemas de señalización por parecer menos formales frente al intelecto. No obstante, considerar el conocimiento material, o de lo material, ofrece nuevas posibilidades en la gestación y transmisión de las ideas. A partir de varios casos históricos, se va haciendo clara la conveniencia de una nueva perspectiva que incorpore este análisis.

Baird propone que el instrumento *contiene* un tipo de conocimiento material. Afirma que la acción del ser humano sobre los medios materiales es también una operación epistémica e insiste en colocar a la teoría y al instrumento en una categoría con el mismo nivel lógico. Usa casos históricos donde las propiedades de los instrumentos fueron claves en el planteamiento y resolución de problemas e impulsaron avances tecnológicos llegando a prescindir el algún grado de su respaldo teórico.

Hemos visto cambiar el estatus del instrumento en las caracterizaciones anteriores. Es interesante notar cómo al cambiar las relaciones entre los elementos de los sistemas experimentales cambian tanto su función como la credibilidad hacia su cumplimiento. El

el primer capítulo iniciaremos con una pregunta derivada de la pregunta principal: ¿tiene el instrumento una función retórica en el discurso de la ciencia?

Veremos el sentido en que es entendida la retórica en la ciencia por Bruno Latour en el dominio contingente de la ciencia y contrastaremos algunas de sus propuestas con los esquemas proporcionados por Baird. La principal dificultad que enfrentaremos, luego de la función del instrumento, es su validación. Si los instrumentos validan el conocimiento científico, ¿bajo qué operaciones se validan los instrumentos? Tendríamos que buscar los antecesores de un instrumento y después los antecesores de ellos hasta llegar a los primeros, ¿o llegaríamos a las manos de los primeros seres humanos, a los ojos de los primeros seres humanos? Por otro lado, ¿qué deberíamos exigir a dos instrumentos para llamarlos congruentes? Si dos, tres, cien instrumentos, arrojan los mismos datos bajo condiciones experimentales idénticas, ¿podemos decir que son exactos?

Consideramos que se trata de un problema de justificación, de la construcción del puente entre el mundo sensible y los hechos científicos ya asentados. Un paso necesario es notar que este camino es largo y complejo. Los instrumentos son herramientas a través de esta justificación, el peligro es convertirlos en argumentos irrefutables, definitivos.

Finalmente, revisaremos un caso particular: el sistema de análisis cromatográfico desarrollado por el botánico ruso Mijaíl Semiónovich Tsvet (1872-1919). Veremos si en él se comprueba o no una función retórica y si el contexto en el que se confeccionó influyó en ello.

CAPÍTULO 1. ¿Tiene el instrumento una función retórica?

En sus inicios la retórica fue una disciplina centrada en el lenguaje oral. Perseguía la estructuración correcta y armónica del discurso, atendiendo a su contenido, su sintaxis, sus cualidades estéticas y otros aspectos relacionados con su declamación. Buscaba ejercer un efecto en el interlocutor no sólo a nivel intelectual, también emocional. La retórica ha extendido su campo de estudio a otras áreas donde tiene lugar el fenómeno de la comunicación, por ejemplo, la literatura, y aquellas cuyo vehículo es el lenguaje visual, como el diseño gráfico y la publicidad.

Ya que la ciencia es entendida como obra del razonamiento riguroso, es común pensar sus argumentos como hechos que la naturaleza misma enuncia a través de la historia, olvidando lo problemático que es su asentamiento en el imaginario. El análisis del discurso de la ciencia requiere diferentes perspectivas. La retórica, además de proporcionar un medio para la aproximación a la estructura y presentación de los argumentos científicos, puede ser guía en la comprensión de su capacidad persuasiva (Sismondo, 2010. p. 149).

En esta capacidad intervienen agentes tales como el método de análisis, el estado de las teorías, la inteligibilidad de las variables del sistema experimental y la presentación del experimento. Incluso el lugar geográfico y su situación política han sido elementos retóricos. Las creencias las fraguan las manos de usuarios ulteriores (Latour, 1987, p. 59). En este capítulo nos centraremos en el papel de los instrumentos.

Hablar de cómo participan los instrumentos en la justificación de los hechos requiere primero una breve caracterización y la exposición de sus funciones más importantes. Comenzaremos por la clasificación de Baird (2001) exponiendo algunos ejemplos representativos. Esta clasificación consta de tres elementos: modelos, dispositivos e instrumentos de medida.

Entre los modelos el primer ejemplo son los planetarios mecánicos del siglo XVIII, modelos mecánicos a escala de los cuerpos celestes y sus órbitas. En ellos el

movimiento mecánico denotaba la periodicidad y complejidad geométrica del movimiento de los astros en el universo. Mediante su manipulación se realizaron determinaciones astronómicas al mismo tiempo que se hacían predicciones con expresiones matemáticas.

Aunque no tenían un lugar privilegiado entre los recursos de los observadores del firmamento, su estatus fue el de una metáfora, que para el autor es una función teórica: se sabía que las fuerzas interactuantes en ellos no eran de la misma naturaleza que las fuerzas en el cosmos, o que no todas las piezas hallarían su análogo cósmico, sin embargo el mecanismo intrínseco del instrumento se pensaba comparable y su demostración continua ayudó en la elaboración de predicciones y comparaciones. Por sus cualidades, fue un instrumento bien aceptado entre los partidarios de la filosofía mecanicista.

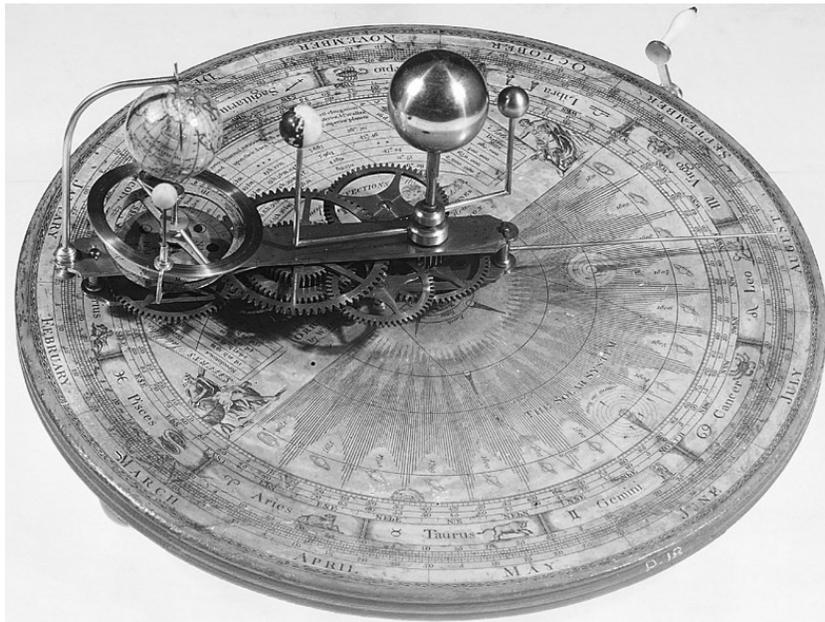


Figura 1. Planetario mecánico portátil del año 1794. Representa los movimientos de la luna alrededor de la Tierra y los movimientos de Mercurio, la Tierra y Saturno alrededor del sol.

Los planetarios mecánicos tenían un atributo especial: ofrecían una explicación mecánica tangible, un recurso material válido, que se aceptaba que era el resultado de un entendimiento profundo (Baird, Op. Cit., p. 28).

En segundo lugar está la rueda de agua de John Smeaton (Figura 2). Buscando mejorar el aprovechamiento de la energía de la caída de una masa de agua, Smeaton construyó un modelo pequeño de una rueda de agua. Modificando sus parámetros, distinguió varios factores que influían en la optimización de su modelo. Colocó, por ejemplo, un peso para medir la fuerza, encontró la forma de regular el flujo de agua y mantener constante el nivel en el depósito. Resolvió un problema práctico que contribuyó al conocimiento en la materia y al desarrollo tecnológico.

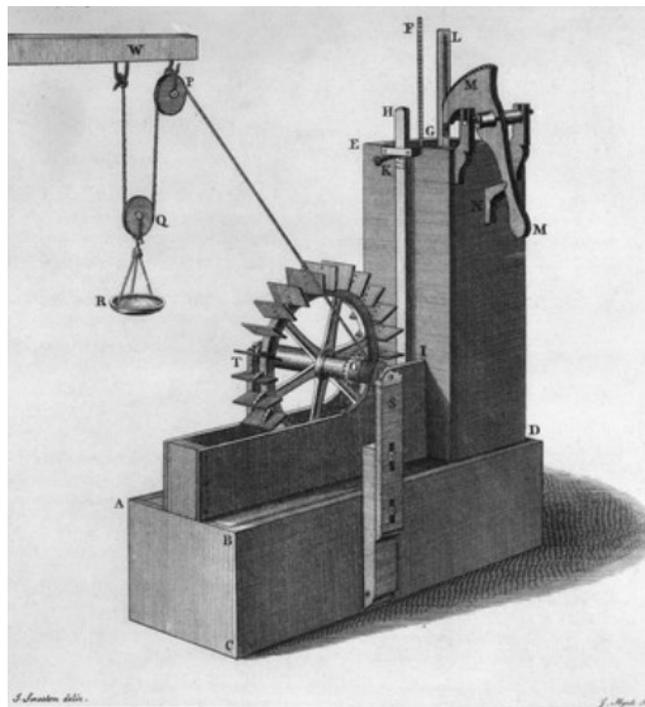


Figura 2. Modelo de una rueda de agua de John Smeaton, 1809.

En sus modelos, Smeaton estableció un contacto directo con las variables de su sistema. Tal como se encontraban ahí pudieron ser convenientemente maniobradas para hacer generalizaciones sobre ellas y extenderlas a nuevos casos. En ese aspecto

operativo superaron a otras abstracciones, como el cálculo diferencial, recurso de Antioine Parent en 1704 (Baird, Op. Cit., p. 29).

Por último se encuentran los modelos que no denotan nada real o visible en el fenómeno, sino que en ellos se resaltan estructuras subyacentes desde las cuales interpretarlo y entenderlo. No tienen una función metafórica, ya que no necesariamente hay alusiones hacia lo real desde el modelo.

Las figuras que componían el modelo de transcripción genética de Watson y Crick (Figura 3) representaban a los átomos ordenados en moléculas, concepto que había madurado poco a poco pero todavía no aludía a una realidad clara en el imaginario científico.



Figura 3. Reconstrucción del modelo molecular del ácido desoxirribonucleico propuesto por James Watson y Francis Crick (contiene algunas piezas originales). Watson y Crick componen esta estructura en 1953 con ayuda de Maurice Wilkins y Rosalind Franklin, cristalógrafa. Los tres hombres comparten el premio nobel de fisiología en 1962 por este trabajo.

En 1929, el bioquímico Phoebus Levene (1869-1940) describió los componentes del ácido desoxiribonucleico (ADN): una molécula de desoxiribosa, una molécula de ácido ortofosfórico y cuatro bases nitrogenadas heterocíclicas. Estableció también una distribución espacial para ellos pero no fue suficiente para explicar la función del ADN. Luego de varias aportaciones, en 1952 los análisis cristalográficos de Maurice Wilkins (1916-2004), físico neozelandés, y Rosalind Franklin (1920-1938), química y cristalógrafa inglesa, exhibieron un patrón repetitivo y sugirieron la forma de la doble hélice, lo que fue clave para consolidar el modelo. Así, estructura y función convergieron para volverse interdependientes. Esto dio lugar a una nueva manera de ordenar las moléculas biológicas y entender sus transformaciones.

Mediante las relaciones geométricas de las piezas del modelo de la doble hélice se pudo explicar la disposición de las moléculas en el espacio conduciendo a un ambiente biológico completamente nuevo. Dichas piezas tomaron el lugar de las palabras y ayudaron a trasladar la información de los datos físicos y químicos al diseño de la nueva propuesta.

Todos estos modelos tienen en común que su manipulación fue clave para su empleo como herramientas en la ciencia. Cada ejemplo cumple con una o varias de las siguientes funciones, que propone Hughes (1997) como las formas en que un modelo representa al mundo: denotar, demostrar e interpretar (Hughes, 1997). El planeratio mecánico *denotaba* un mecanismo, la rueda de agua *demostraba* la ciencia de cada con guración, al igual que el modelo de transcripción genética. Aceptar este estatus para los modelos ampliaría el conjunto de entidades epistémicas. Volveremos sobre ese movimiento al terminar esta exposición.

En el grupo de los dispositivos, Baird comienza comentando el vidrio de pulso, donde se recreaba la ebullición de los líquidos. Consiste en un tubo delgado con sus dos extremos doblados a noventa grados. El tubo comunica dos amplias esferas de vidrio, formando un recipiente sellado al vacío, llenado usualmente con agua o alcohol hasta dos terceras partes de su capacidad (Figura 4). Debido a la presión reducida, el líquido

acumulado en una de las esferas alcanza la ebullición por el calor que le transmite la mano al sostener la otra esfera.

Durante los siglos XVIII y XIX el vidrio de pulso fue objeto de comentarios muy controvertidos. Había muchas ideas diferentes para explicar el fenómeno que se producía en él. Ponía de relieve contradicciones aparentes tales como la posibilidad de que el líquido ebulliciera indefinidamente sin perder una sólo gota de su volumen. El vidrio de pulso demostró que la ebullición en el vacío (parcial), un tema concerniente a la termodinámica detrás de las máquinas de la revolución industrial en auge, cargaba todavía con imprecisiones.



Figura 4. Ejemplo de un vidrio de pulso con líquido coloreado.

La atención de la comunidad científica fue cautivada por el instrumento y su accionar. Centró un problema con conceptos y necesidades particulares, con lo que no sólo aumentaron las reflexiones sobre la naturaleza del calor, sino la confección de nuevos instrumentos con atributos similares. Gracias a sus cualidades se volvió un objeto muy popular: su tamaño y la simplicidad de su diseño lo hicieron muy llamativo e ideal para hacer demostraciones.

La estabilidad y regularidad de su reproducción integran al fenómeno en una causalidad provisional y despejan las dudas que se preguntan si se repetirá en el futuro o si se trata de una ficción, un engaño a los sentidos. Su modo de operar debe ser ilustrativo y motivar y facilitar la exploración mediante sus componentes.

De este ejemplo surge un concepto central en la epistemología instrumental desarrollada en la obra de Baird, el *conocimiento de trabajo*, que es una forma de conocimiento material. Para su conformación, se lleva a cabo una serie de operaciones epistemológicas en lo material, tales como el planteamiento de nuevas condiciones experimentales, la fabricación y mejora de las piezas del instrumento, la optimización de mecanismos, el diseño de materiales y la adaptación del sistema a la disponibilidad de sus componentes.

Una vez que el fenómeno se asienta en el imaginario se pueden adecuar a él diferentes explicaciones con el paso del tiempo. De cierta forma, el dispositivo es más estable tecnológica que teóricamente, aunque de ningún modo es inmutable.

Los instrumentos de medida son un grupo cuyo funcionamiento se explica desde los dos grupos anteriores: crean un fenómeno sobre el cual se tiene control como pasa con los dispositivos, y aunque no son modelos, se requiere una representación que incluya el rango de los resultados esperados. En química analítica, los instrumentos de medida operan analizando el comportamiento de una especie determinada, llamada analito, en una muestra. Cuando el instrumento interactúa con ella, se produce una señal, que se transforma en información mediante un transductor.

La discusión gira alrededor de la fabricación del espectrómetro de masas, las ideas que motivaron su diseño, sus componentes centrales, los problemas que se resolvieron y las motivaciones metódicas y económicas contempladas. Se resaltan principalmente dos puntos: primero, que la confección del instrumento es dirigida por los problemas instrumentales, para cuya identificación y resolución es preciso el trabajo intelectual y manual; segundo, que los instrumentos son algo más que el reflejo de las ideas, pues existen en un plano material y uno intelectual.

Aunque aluden al conocimiento teórico proposicional, ésta no es su función fundamental. Sus aptitudes se despliegan también en el mundo de los fenómenos. Cuando el instrumento de medida se desempeña adecuadamente, se asegura que hay un vínculo estable entre las señales y los resultados de la medición.

Una vez vistos estos ejemplos, comentaremos cada grupo por separado. Pero antes de hablar de la función retórica de los modelos, colocaremos algunos puntos de referencia en el amplio campo de estudio de los modelos científicos. Mostraremos tres tipos de relaciones entre teoría y modelo intentado aclarar qué quiere decir que los modelos y las teorías estén en el mismo nivel lógico.

Nos situamos cerca de 1970, cuando se formuló la concepción semántica de las teorías. Esta concepción cambió el enfoque de los estudios epistemológicos: de las teorías, su estructura y su correspondencia con los fenómenos, hacia los modelos. Hay varias versiones que difieren sobre todo en cuanto al tipo de relación que hay entre los modelos, pero el acuerdo prevaleciente es que una teoría está constituida por modelos.

Antes de esta transición, los modelos no eran una pieza central en la sistematización del conocimiento. A la concepción semántica antecede la concepción clásica de las teorías, elaborada, por dar una referencia no muy estricta, entre 1930 y 1970. Según esta última, las teorías son las consecuencias que se derivan de la unión de dos conjuntos: los postulados teóricos A y las reglas de correspondencia C : $T = C_n(A \cup C)$ (Cassini, 2016). Esta concepción merece una discusión aparte, pero notemos que ya que los modelos no necesariamente se enuncian, usualmente se desempeñan como interpretaciones de, o alusiones a, las teorías.

Considerando los grandes avances que experimentó la lógica matemática durante las primeras décadas del siglo XX podemos ver porqué el estudio sintáctico de los enunciados de la ciencia parecía muy conveniente para la axiomatización de las teorías científicas. Mas en ese camino, los no pocos elementos no enunciables de la práctica experimental son, si no ignorados, relegados a un plano secundario.

La concepción semántica de las teorías modificó el estatus epistémico de los modelos al verlos como nuevas entidades desde las que se hace accesible una porción del mundo. Al ser retomado el potencial heurístico de los modelos, se abrieron preguntas esenciales acerca de qué son, cómo funcionan, cómo se relacionan entre sí y cuáles

son sus posibilidades. Actualmente hay una gran colección de preguntas abiertas relacionadas con los modelos. Dos líneas de investigación abordan los problemas que tienen que ver, una con sus funciones, y otra con la representación que involucran.

Baird evoca la concepción semántica de las teorías y concluye que los modelos materiales pueden entenderse como modelos de ésta (p. 39), teniendo en cuenta algunas reservas derivadas de su materialidad. Una de ellas es que ni los modelos ni las clases de modelos son dados por la teoría. Una teoría no se relaciona con ciertos modelos semejantes entre sí, sino que una teoría es una generalización abierta de un modelo.

El autor se enfoca en los modelos materiales no verbales, cuya capacidad de representación se debe a la posibilidad de hacer en ellos modificaciones mecánicas, y propone un tipo de conocimiento desde el modelo. Identifica casos en la historia donde la teoría resistiría la omisión de al menos la mayoría de las representaciones abstractas, gracias a las cualidades de diferentes modelos.

Hay una versión intermedia en la que los modelos son mediadores. Morrison y Morgan (1999) ven limitaciones en la premisa de que los modelos sean realizaciones de las teorías, como lo dice la concepción semántica, y en cambio sostienen que los modelos guardan cierta distancia tanto con las teorías como con el mundo, y esta distancia les deja intervenir en ambos dominios.

Los modelos combinan tres características particulares que nos permiten hablar ellos como tecnologías (...). Primero, la construcción de modelos involucra una independencia parcial de las teorías y el mundo, pero también una dependencia parcial de ambos. Segundo, los modelos pueden funcionar autónomamente en una variedad de formas para explorar las teorías y el mundo. Tercero, los modelos representan o aspectos de nuestras teorías, o aspectos de nuestro mundo, o más comunmente aspectos de ambos al mismo tiempo. Cuando usamos o manipulamos un modelo, su poder como tecnología se vuelve aparente: usamos estas características de independencia parcial, autonomía funcional y representación para aprender algo de la manipulación (Morrison&Morgan, 1999, p. 32, traducido).

Luego, la función representativa en los modelos es un tipo de realización donde se abstraen o traducen aspectos de uno o ambos dominios.

Esta última tiene en común con la postura de Baird que los modelos no son recursos o instancias para completar las teorías. Además, cuando los modelos son manipulados, en lugar de traducir, integran rasgos distintivos de un fenómeno, incorporando aspectos de una o más teorías para responder problemas específicos sobre éste. El modelo crea su propio escenario, que es un medio para intervenir en lo que modela.

Hasta aquí no nos resulta imprescindible colocar al modelo en el mismo nivel que la teoría para hablar de sus facultades heurísticas o de su autonomía funcional. No obstante, si la adscripción a la concepción semántica es adecuada en la narrativa del libro *Thing Knowledge* es una fuente de nuevos problemas que excede a los propósitos de este trabajo.

¿Dónde radica la capacidad persuasiva del modelo? Si los modelos son capaces de crear instancias para el estudio de los fenómenos, entonces establecen una continuidad entre dominios. Cuando las analogías en el modelo son convenientes, este cometido se cumple.

En el laboratorio, las analogías no siempre son inteligibles. La estrategia de Latour al escribir sobre retórica es valerse de diálogos entre personajes, así que en el laboratorio enfrenta al profesor y al visitante. Recién llegado el visitante, los instrumentos no son siquiera reconocibles. Los modelos, en la sutileza de su representación, se diluyen entre un entramado de cosas visualmente significativas si nadie los apunta. El laboratorio, comparado con el artículo científico, está lleno de variables inesperadas.

Latour (1987, p. 71) nos presenta un personaje que encontramos de pie junto al instrumento. Es su intérprete. Sus comentarios son, en principio, tan desinteresados como ilustrativos:

Los científicos no dicen nada más que aquello que está inscrito, ¡pero sin sus comentarios las inscripciones dicen considerablemente menos! Hay una palabra para describir esta extraña situación; una palabra muy importante en adelante, es la palabra *portavoz*. El autor se comporta como si él o ella fueran el micrófono de lo que está inscrito en la ventana del instrumento.

He aquí una personificación genial y oportuna que nos recuerda la importancia de presentar al instrumento. El portavoz (spokesman) dice lo mismo que el instrumento y entre los dos capturan la regularidad del mundo. Dice lo contrario y los dos pierden toda credibilidad.

En caso de que el portavoz hable de una asociación fuerte, vínculos fuertes entre entradas y salidas, sus afirmaciones ganan especificidad y con ella se vuelven más convincentes.

* * *

Los dispositivos son independientes en un sentido: se encargan de manifestar un fenómeno que se completa a sí mismo y que está abierto a distintas descripciones teóricas. Aceptan articular un argumento u otro si una tesis en suma es consistente. Mientras no se haya logrado cierta definitividad en las teorías, los dispositivos continúan siendo fuente de preguntas nuevas y constataciones parciales.

Pero, de la independencia del dispositivo, ¿se deriva que ninguna teoría es definitivamente correspondiente a él?

Latour contesta que cuando las controversias sobre los hechos de la ciencia están abiertas, no existen criterios definitivos para elegir una explicación sobre otra. Los criterios son colocados en retrospectiva.

Podemos revisar todas las opiniones ofrecidas para explicar porqué una controversia abierta se cierra, pero siempre nos tropezaremos con una nueva controversia lidiando con el cómo y el porqué está cerrada. Tenemos que aprender a vivir con dos voces contradictorias hablando a la vez, una acerca de la ciencia en su hacer, la otra acerca de la ciencia ya hecha. Esta última produce enunciados como 'sólo haz esto... sólo haz aquello...'; la otra dice 'suficiente nunca es lo suficiente. [Una] considera que los hechos y las máquinas están bastante bien determinados. [Otra] considera que los hechos y las máquinas en su elaboración están siempre indeterminados (Op. Cit., p. 13).

Los dispositivos de la ciencia hecha exhiben un fenómeno sobre el que hay sólidas convenciones. Los dispositivos de la ciencia en su hacer exhiben en cambio un fenómeno en discusión. No cambia el tipo de fenómeno, cambia su significado. Ambos

tienen en común una regularidad, que los hace que permanecer en la mente del experimentador.

* * *

En cuanto a los instrumentos de medida, Bachelard ve un riesgo en separarlos de su contexto teórico (1975). Cuando el analista realiza una medición ha de relacionarla con su sentido teórico profundo, con una configuración, con las causas posibles y una serie de predicciones (p. 211). Las medidas, una por una, no realizan la abstracción del objeto medido.

Sin duda la medición funciona como un elemento retórico. Como si al asignar numerales a las variables de un sistema fuera el modo más efectivo de aprehenderlas, al mirar cifras junto a una lista de entidades con al menos una vaga relación semántica, se cree que en ellas se comprueba el rigor y la efectividad del análisis. El análisis cuantitativo así entendido no se salva de la ambigüedad que se incrimina al análisis cualitativo más inmediato (Bachelard, 2000, p. 248), porque es tomado como criterio de objetividad y encubre otras preguntas que tienen que ver con los alcances de otros elementos del sistema experimental.

Para contestar a este actuar irreflexivo, hablaremos de la estandarización. La estandarización justifica el uso de un instrumento, pero ¿cómo se lleva a cabo?

En su brillante libro, *Inventing Temperature*, el filósofo e historiador de la ciencia Hasok Chang explica la historia de la confección de los termómetros y la estandarización de la medición de la temperatura, detallando las implicaciones epistémicas y técnicas de cada paso en el proceso.

Chang reconoce tres etapas (2004, pp. 47-50) en la confección del termómetro para estandarizar la temperatura útiles para entender el papel del instrumento de medida.

La primera etapa se caracteriza por reconocer una propiedad observable en la materia y está muy próxima a los sentidos humanos. La temperatura es una magnitud

particularmente difícil de dimensionar desde los sentidos y en esta etapa es abstraída simplemente como algo susceptible de ser cuantificado. El instrumento es la facultad humana de sentir frío y calor.

Los instrumentos de la segunda etapa operan bajo algunos principios conocidos, en el caso del termómetro, acerca del comportamiento de los fluidos. Aunque carecen de una escala absoluta, permiten determinar variaciones. Además de fundamentarse en la sensación, facilitan la comparación y orden de los fenómenos. Un recipiente de vidrio conteniendo un fluido puede dar cuenta de diferencias de temperatura en contacto con dos cuerpos diferentes. Los resultados de la medición son ordinales.

Con ayuda de los instrumentos de la segunda etapa se eligen puntos fijos que son anclas en la escala de medida. Los instrumentos que incorporan esta escala pertenecen a una tercera etapa. Los valores numéricos tienen un nuevo sentido, están más cerca de la magnitud medida y guardan relación con los cálculos matemáticos que también son un criterio de exactitud. Al situar una medición en algún punto en el intervalo de la escala se infiere información sobre el fenómeno. La elección de las condiciones adecuadas para establecer los mejores estándares, el estudio de los sistemas donde se presentan equilibrios entre dos o más fases, e incluso, algunos descubrimientos serendípicos hicieron posible la confección del termómetro. Aquí los resultados de la medición son cardinales.

A través de estas etapas se lleva a cabo un proceso que el autor llama iteración epistémica. Lo llama iteración porque cada etapa se basa en la anterior y se puede replantear para alcanzar una meta epistémica. Las etapas se repiten y conforme avanza la iteración el sistema se corrige, de modo que al final es, por decirlo de alguna forma, menos imperfecto. Son dos los principios que articulan este proceso, el principio de respeto y el imperativo de progreso (Chang, op. cit., pp. 225-232).

El principio de respeto dice que los científicos se adscriben a un sistema epistémico que heredan en cierta medida y del cual se apropian. Con el tiempo identifican en él fallos y carencias. Los científicos reconocen que es imposible desechar ese sistema imperfecto;

aunque con reservas, siguen basándose en él, pues de lo contrario haría falta suelo firme, habría que deducir otra vez todos los principios conocidos. Buscan la manera de hacer sus propias contribuciones y señalar las deficiencias que impiden los avances en su disciplina respetando las consecuencias generales del conocimiento del que parten. En la medición se respetan los estándares de cada etapa por su pertinencia circunstancial, independientemente de cuál tenga más peso en el veredicto. Los últimos son las sensaciones, que aun cuando no demuestren los argumentos más sólidos, son referencias primarias.

El imperativo de progreso pide que los juicios del sistema sean consistentes y se busque siempre mejorar la precisión, la confianza y el alcance de la medición. Se pide a los sistemas poseer algunas cualidades epistémicas, por ejemplo, la simplicidad, la elegancia y el orden.

Cabe mencionar que, aunque se afirma que los estándares se fundamentan en última instancia en los sentidos, éstos no tienen la más alta jerarquía ni son pruebas definitivas, sólo anteceden otras formas de evaluación. Hasta los puntos fijos pueden moverse. Durante la elaboración de un estándar, los analistas crean estrategias epistémicas para avanzar un paso en la serie de argumentos que prueban las aptitudes de un sistema y con él la existencia de una regla de correspondencia entre la magnitud de medida y la señal. El fenómeno se corresponde provisionalmente con el estándar y se crean fenómenos nuevos. Establecer estándares de medición es un proceso que requiere la participación activa y reflexiva de la comunidad científica; es una convergencia entre los materiales disponibles, la capacidad de crear fenómenos, las variables definidas, las cualidades materiales y representacionales del instrumento, la habilidad de proponer estrategias epistémicas y, quizá, la suerte, sobre la solidez de una tradición experimental que comunica de diversas formas observaciones y proposiciones.

Una ventaja de la iteración epistémica es que no es determinista. Los elementos del sistema experimental no están separados por orden de importancia. No está, por ejemplo; el fenómeno en un primer plano, la observación en un plano más elevado y

más lejos aún la matematización. En lugar de eso conviven, se traslapan, se recrean y resignifican.

Respecto a la pregunta de cuándo llamar congruentes dos instrumentos, el autor menciona que dos estándares, además de coincidir en sus resultados numéricos, pueden coincidir en sus procedimientos operacionales o compartir el mismo respaldo teórico (Chang, op. cit., pp. 157-158) que está implícito en su funcionamiento. El dato es útil y preciso, mas deja de ser un producto acabado. Además se considera que la ciencia es una actividad social que se apoya en convenciones bien sustentadas y los problemas de diversa índole motivan el ingenio y la creatividad de la comunidad científica.

En suma, esta perspectiva nos parece conveniente para hablar de la medición y su respaldo metodológico. En ella se evidencia lo ilusorio de la definitividad de un resultado referido a un estándar de medición. La estandarización es un proceso que más que derivarse del respaldo teórico de la medición, se retroalimenta constantemente de él.

La información obtenida de los instrumentos de medida está en condiciones de ser suficientemente justificada y de hablar en favor de un argumento, mas abandonemos la idea de que esta justificación está dada desde el comienzo.

CAPÍTULO 2. Caso de estudio: la columna de análisis cromatográfico

Entre las prácticas experimentales, los principios de las ciencias químicas retroceden en las líneas del tiempo permeando los primeros registros gráficos de los procedimientos para transformar los estados imperturbables de la materia dada, impregnando la tradición oral de las civilizaciones respetuosas de las fuerzas oscilantes de la naturaleza y aglutinándose en oficios como la alfarería, la metalurgia, la herbolaria, la fundición del vidrio y la pigmentación.

La tradición experimental antes del levantamiento de la química como estudio sistemático representa los cimientos del edificio que alberga explicaciones de lo macroscópico a lo subatómico, y en más puntos intermedios a lo largo de las dimensiones del espectro electromagnético.

Rememorando aquellas transiciones, nos damos cuenta de que también el lenguaje de la química incluye nociones que han experimentado fases de adaptación.

En los siguientes párrafos seguiremos dos conceptos que a nuestro parecer son fundamentalmente pragmáticos: la sustancia y la pureza. Los dos fueron definidos en contextos en los que fueron útiles y consistentes, hasta que se volvió indispensable reformularlos.

El concepto de sustancia se puede referenciar por lo menos hasta los tiempos de Aristóteles (Estagira, 384 a. C. - 322 a.C.). Es un tema que ha sido profundamente investigado por la filosofía y tiene implicaciones metafísicas que no consideraremos en esta discusión. Nos centraremos en la identidad de la sustancia química a partir de algunas definiciones.

Una definición de sustancia química bastante estable en la historia se deriva de las ideas de Joseph Louis Proust (1754-1826), farmacéutico y químico francés, quien en 1795 tras estudiar la composición de algunos carbonatos, óxidos y sulfuros metálicos

de considerable pureza, estableció lo que ahora se conoce como ley de Proust, <<cuando dos o más cuerpos simples se unen para formar un compuesto definido, su combinación se efectúa siempre bajo una misma relación ponderal>> (“Loi des proportions définies”, 2016, traducido).

La reserva a estimar en este enunciado es que la palabra *compuesto* no demarca lo mismo que en la actualidad. Compuesto se traduce del francés *composé*, que podría entenderse en ciertos casos como *preparado*, e incluso como sustancia química. Así, podemos escribir: *una sustancia química, es aquella que resulta de la combinación, bajo una relación ponderal constante, de dos o más cuerpos simples.*

La distinción entre estos dos términos requiere una comprensión más profunda del dominio molecular de la materia, que inició Stanislao Canizzaro (1826-1910), químico italiano, presentando en 1860 en el Congreso Nacional de Química en Karlsruhe un método para determinar los pesos atómicos de los elementos (“Segunda revolución de la química”, 2011). En aquél congreso participaron químicos de Alemania, Austria, Bélgica, España, Francia, Reino Unido, Italia, México, Portugal, Rusia, Suecia y Suiza. Ellos lograron comprender la necesidad de crear convenciones en su lenguaje y encausaron sus esfuerzos para llegar a ellas. Con el método de Canizzaro se logró diferenciar definitivamente entre elemento y compuesto, ambos pertenecientes a la categoría de sustancia química. Actualmente se entiende por compuesto una sustancia con determinada identidad molecular, formada por dos o más elementos. Sustancia es pues, un conjunto que incluye al compuesto.

De la definición de Proust se conserva la premisa de que las cantidades de los cuerpos simples que conforman la sustancia química mantienen una relación fija. Hoy la cantidad de compuestos nuevos que se suman a la lista crece cada minuto y no es raro que muchos de ellos queden fuera de todo tipo de clasificación. Una excepción a la ley de Proust son los cristales, cuya composición varía localmente. Para expresar la cantidad de cada elemento en su fórmula química se obtiene un promedio expresado frecuentemente con números racionales. Como ejemplo, el compuesto $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.5}$, estudiado por sus propiedades electromagnéticas (Mankowsky, 2014, pp. 1-2).

Para Willem Ostwald (1853-1932), científico y filósofo nacido en lo que hoy es Letonia, dos sustancias son iguales cuando no se reconocen propiedades distintas entre ellas (Baird, 2004, p. 97). Esta definición introduce un aspecto pragmático de la sustancia química, ya que en el reconocimiento de propiedades intervienen instrumentos y técnicas analíticas. Con el desarrollo de instrumentos y el refinamiento de técnicas, la identidad de la sustancia química es susceptible de cambiar.

Los minerales de molibdeno, por ejemplo, se trabajan desde la antigüedad. El molibdeno no fue distinguido del plomo sino hasta 1778 por Carl Wilhelm Scheele (1742-1786), químico sueco nacido en la actual Alemania; y aislado cuatro años después por el químico y metalúrgico sueco Peter Jacob Hjelm (1746-1813). Al observar que la molibdenita, mineral natural del molibdeno, era un sulfuro de un elemento desconocido, fue descompuesto en ácido nítrico caliente y calentado en el aire para producir un polvo de óxido blanco, que al ser reducido produjo un metal oscuro: el molibdeno (“Historia del molibdeno”, s/f). Lo que se tenía por una sólo sustancia química, que se trabajaba como tal, se sabe ahora que es una mezcla.

Pese a ser un término central para la química, actualmente no hay un consenso definitivo sobre qué es y cómo se identifica una sustancia química. Existe cierto acuerdo en que la sustancia, aunque suele ser definida en un dominio molecular, es caracterizada gracias a sus propiedades macroscópicas en unas condiciones de temperatura y presión dadas por su diagrama de fases (Córdoba, 2013, pp. 171-172).

Córdoba continúa explorando la imposibilidad de reconocer una sustancia sobre el hecho de que la química tiene distintos dominios. Cada dominio tiene sus métodos de identificación y unificarlos es una pretensión complicada:

(...) una sustancia química puede identificarse mediante propiedades pertenecientes a los planos macroscópico y microscópico. Ahora bien, ¿es posible establecer un nexo reductivo entre los criterios identificatorios de dichos dominios? Es decir, a partir de la estructura molecular de una sustancia química dada, ¿puede determinarse ab initio su punto triple o su densidad en el cambio de fase? La bien conocida imposibilidad de relacionar tales dominios por vía reductiva permite diferenciar claramente los dos planos en los que se manifiesta el mundo químico: el macroscópico y el microscópico (p. 173).

Si bien la autora acepta la posibilidad de la construcción de nexos interteóricos entre estos dominios, con las fuertes dificultades que esto implica, se inclina por esquemas alternativos de unificación en la medida en que lo permita la práctica. Esta propuesta queda abierta para investigaciones posteriores.

Desde el concepto de sustancia se formula el de pureza; la sustancia es la referencia de la pureza. Bachelard (1884-1962), filósofo y científico francés, explica el significado de pureza partiendo de una discusión acerca de los principios materiales de la ciencia (1976 en Chamizo, 2007, pp.100-103). La pureza, tan inalcanzable, que otras disciplinas quisieran depositar en manos de la química, sus métodos de purificación y sus estándares corregidos y replanteados incesantemente, no debería entenderse como ideal de perfectibilidad de la materia, sino como un ejercicio de agrupación, de identificación y unificación eficaz. Sólo luego de revelar la homogeneidad se busca lo heterogéneo y se encuentra lo distintivo.

¿Qué es la pureza para la química analítica? En química analítica se miden las señales que produce un componente de una muestra. El componente de interés se llama analito, y él junto con el medio o matriz donde se encuentra o se prepara, forman la muestra. Si la identidad del analito se conoce con anticipación, se compararán las señales con otras proporcionadas por una base de datos para saber si hay contaminantes. Si se trata de una entidad química nueva o no se cuenta con registros previos, se compararán las señales a través de una o más etapas de purificación. El criterio de pureza será entonces que las señales permanezcan constantes y se diferencien del medio o matriz. Las señales se interpretan con ayuda de un transductor, que convierte distintos fenómenos energéticos en otros más fácilmente manejables.

Rothbart y Schreifels (2011) dicen que “la noción de pureza se basa en el supuesto de que algunas sustancias son homogéneas con respecto a propiedades reproducibles” (p. 466), esto es, respecto a sus señales. La demarcación de lo puro parte de la reproducibilidad, que es la condición en la que un experimento realizado por personas diferentes en diferentes momentos arroje los mismos resultados. Como vemos la

homogeneidad de ningún modo es total, se remite a unas propiedades que producen señales en un sistema de medida. Al relacionar las señales con las cualidades de la materia se homogeniza, o se encuentra su homogeneidad provisional.

Un aspecto más a tener en cuenta para entender la pureza es la reactividad. Ya que las sustancias reaccionan desde el nacimiento de nuestra galaxia y en grados de complejidad variable, ¿por qué creer que la pureza está en unos gramos o unos mililitros de una sustancia que se libró del ajetreo de convivir con otras? Con todo y la ambición estética de poseer una porción de materia, protegida de cualquier transmutación y contaminación, una sustancia se reconoce por sus transformaciones y su potencial de transformar. La pureza es pues un estado ideal de una sustancia al que apuntan los productos de sus reacciones.

Hechos los comentarios anteriores, vemos que dos conceptos pierden su rigidez aparente. Con lo anterior queremos señalar cómo pese a ser centrales para la química se han adaptado a las posibilidades y necesidades de la experimentación.

A continuación tomaremos el caso de un instrumento que parece ser compatible con la caracterización de los dispositivos que hace Baird. Queremos determinar si puede ser un elemento retórico en el mismo sentido que hemos planteado en la sección anterior. Posteriormente haremos algunos comentarios acerca de su adaptación en el medio en el que se desarrolló. Se trata de la columna de análisis cromatográfico de Mijaíl Semiónovich Tsvet (1872-1919).

La esencia de la cromatografía es la separación de una mezcla soluble en una fase móvil (disolvente) al moverse a través de una fase estacionaria (adsorbente). Los componentes de la mezcla interactúan con los componentes de las fases. La fuerza de esta interacción determina la velocidad con la que los primeros se desplazan a través de la columna: los componentes más afines a la fase estacionaria tardarán más tiempo en recorrerla, mientras que los más afines a la fase móvil lo harán más rápido.

En la cromatografía en columna todo esto se lleva a cabo en una columna de vidrio en posición vertical.

El extremo superior de la columna está abierto y por ahí se vierte la fase móvil o disolvente. A lo largo de la columna se empaca la fase estacionaria o adsorbente, y con ayuda de una porción de esta fase se coloca por último la mezcla de estudio. En el extremo inferior de la columna hay una boquilla donde se colectan fracciones que contienen disoluciones de compuestos separados de la mezcla (Figura 3).

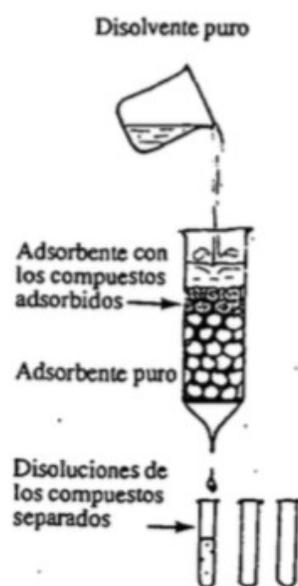


Figura 3.
Esquema de la cromatografía en columna.

Tsvet introdujo un extracto de pigmentos vegetales en una columna de vidrio rellena de una fase estacionaria de carbonato de calcio, con ayuda de éter como fase móvil. Observó la formación de bandas coloridas a lo largo de la columna como evidencia de la separación de los compuestos presentes en la muestra. En 1906 escribió:

Cuando una solución de pigmentos verdes en éter de petróleo se percola por una columna adsorbente, los pigmentos se distribuyen en varias zonas coloreadas desde la parte superior hasta la inferior, ya que los más fuertemente adsorbidos desplazan a los que están más débilmente adsorbidos y los obligan a descender aún más. Yo utilizo como adsorbente carbonato de calcio fuertemente apretado en el interior de un tubo de vidrio (Astorga, Op. Cit., p. 61).

En la Figura 4 podemos ver diagramas de sus primeros instrumentos.

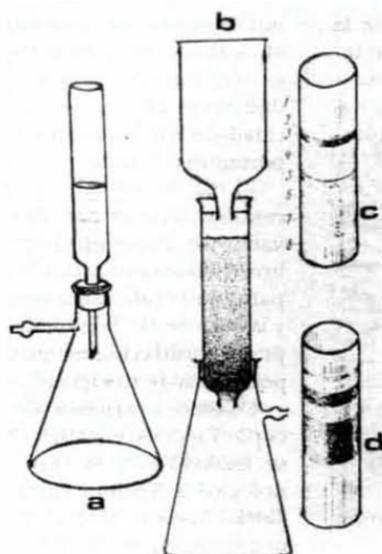


Figura 4. Primeros sistemas cromatográficos de Tswett.

- a. Para el análisis de pequeñas cantidades de muestra
- b. Para la obtención de grandes cantidades de muestra
- c. Cromatograma de pigmentos naturales en hojas verdes
- d. Extracción de los mismos pigmentos

Del vidrio de pulso, ejemplo de un dispositivo, se afirma lo que sigue:

Sin importar la confusión teórica alrededor del vidrio de pulso, permaneció tecnológicamente estable, produciendo su fenómeno regularmente. Claramente, presenta un ejemplo de agencia material, aunque la explicación de esta agencia no sea clara. El instrumento se convirtió el punto de partida de desarrollo instrumental posterior (...). Por otra parte, aunque hoy hay una teoría completa e incontestada sobre el vidrio de pulso, sigue siendo fascinante. El fenómeno no puede ser disminuído por, o reducido a, una explicación teórica (Baird, Op. Cit., p. 44, traducido).

El vidrio de pulso y la columna de análisis cromatográfico tienen cosas en común. Cuando Tsvet desarrolló su método, no había suficientes premisas teóricas para entender todos los fenómenos de la cromatografía (Kara-Murza, 1993, p. 227). Ya había antecedentes de separación por métodos similares al suyo (Romero, 2002), pero el trabajo de Tsvet fue reconocido por su método de laboratorio, así como por la interpretación que le dió al proceso cromatográfico (Astorga, 1990, p. 61).

Aunque el método de Tsvet no fue apreciado inmediatamente, fue un punto de partida para el desarrollo instrumental. Luego de lo que se ha llamado la *reinención* de la cromatografía por Richard Kuhn (1900-1967) en 1931, pasaron tan sólo quince años para que se desarrollara como una técnica completa, incluyendo la cromatografía en capa fina, la de reparto y la de papel. En la década de 1940 se erigió la cromatografía de reparto entre las fases líquida y gaseosa, que en menos de diez años se convirtió en una técnica ampliamente utilizada. La adaptación de ésta última, donde la fase móvil es gaseosa, a una donde la fase móvil es líquida, dio lugar a la cromatografía de líquidos de alta eficacia o HPLC, por sus siglas en inglés, en la década de 1970 (Ettre, 1979, p. VIII).

Adicionalmente, la cromatografía en columna posee atributos visuales atractivos. La simplicidad de su mecanismo y sus señales coloridas despiertan la curiosidad y se imprimen en la mente del experimentador. Modificar las variables del sistema en columna es relativamente simple y se refleja en cambios identificables.

A pesar de su efectividad como método de separación y de basarse en un principio no tan distante de la comunidad científica de su época: la adsorción, la cromatografía en columna enfrentó dificultades para su difusión como método. Una de ellas es explicada a continuación:

Tswett demostraba la eficacia de la cromatografía a través de la obtención de nuevos resultados que no podían ser concordados con los datos comúnmente aceptados. Esto ponía en peligro el estatus de los trabajos anteriores y de sus autores (...). Al separar la clorofila verde en gran número de pigmentos de diferentes colores, Tswett se vio obligado a denominarla sustancia falsamente verde que existe sólo en la imaginación de muchos científicos, la clorofila pura mítica o legendaria clorofila verde. De esta manera, Tswett ponía en duda todo el programa de investigación que definía el estudio contemporáneo de la clorofila, el programa cuyos ideólogos y realizadores eran los químicos más eminentes de aquel entonces (Kara-Murza, Op. Cit., p. 236).

En estas líneas vemos un poco más de cerca las dificultades de un cambio de conceptos en su dimensión social. Estos motivos, aclara el autor, se sumaron a algunos otros de índole cognoscitiva e incluso psicológica, actuando de manera sinérgica en favor de la resistencia a la reestructuración.

En la historia de la ciencia ya hemos visto casos donde las controversias científicas se resuelven no sólo desde la instrumentación y la debida (o insuficiente) justificación de las premisas, sino que es determinante la asimilación de la comunidad, lo cual no es un proceso lógico. La posibilidad de detectar ondas gravitacionales con los instrumentos de Joseph Weber en 1969 fue derribada definitivamente después de un informe donde se aglutinaron una serie de argumentos en su contra. No fue así en el instante mismo en que fue evidente que la diferencia entre la señal y el ruido no era significativa, o la correspondencia entre el mensurando y la señal no era definitiva, ambos problemas instrumentales insoslayables (Collins, 1993, p. 273).

Más aún. En la actualidad la detección de la radiación gravitacional es un tema que parece estar lejos de su clausura.

Desacreditar la eficacia de la cromatografía en estas condiciones fue un medio de defensa de las posiciones establecidas (Kara-Murza, Op. Cit., p. 237). Generalmente el instrumento es un punto a favor de los hechos en la ciencia ya edificada. En la ciencia en su construcción puede ser también un punto débil. Una tercera posibilidad es que no sea valorado en absoluto, y los hechos y su regularidad simplemente no defienden ninguna tesis en particular.

Pero, ¿cómo paso la cromatografía de ser un método analítico poco difundido a ser uno de los pilares de la química analítica? Además de la sinergia de factores que se han propuesto, consideremos que la difusión de una premisa, y en este caso, de un método, depende en gran medida de la preparación del público que la recibe. La difusión es tanto más amplia cuanto mayor es la capacidad de asimilación del público.

En la comunidad científica alrededor de los años 30, la difusión del método fue más amplia. Existían nuevos recursos intelectuales y materiales. Las cualidades del instrumento no variaron enormemente. Kuhn y su equipo analizaron pigmentos de plantas igual que Tsvet, aunque trabajaron con carotenos. Una variación relevante del instrumento, fue el aumento de la altura de la columna para mejorar la separación de

los compuestos obtenidos, con lo que la cromatografía comenzó a emplearse como método preparativo, no sólo analítico.

Para que un instrumento lleve a cabo una función retórica, no sólo se han de considerar sus ventajas y desventajas como tal, sino también el escenario social donde se presenta. Este es un aspecto de la retórica que pareciera estar en el lado opuesto del instrumento; la columna cromatográfica de Tsvet tenía todas las características deseables para mostrar cómo algunos principios químicos explicaban un fenómeno que se convertiría en el principio del método cromatográfico. El instrumento era suficientemente sencillo para que el experimento de la separación de pigmentos fuera reproducido en otros laboratorios. Sin embargo, los experimentos de Tsvet no resultaron lo suficientemente persuasivos para su difusión inmediata. En lugar de eso, el instrumento fue retomado cuando su medio fue más adecuado.

CONCLUSIONES

Los instrumentos científicos no constituyen un conjunto homogéneo de objetos, pero sus funciones en común proporcionan pautas para su clasificación. Basándonos en ciertas pautas proporcionadas por Baird, identificamos tres aspectos que pueden contribuir a hablar de la retórica del instrumento:

Los modelos vinculan dominios mediante la analogía. Si esta vinculación es pertinente, simple o ilustrativa, el modelo resulta persuasivo. Latour introduce además un personaje que presenta al modelo. Nos recuerda la importancia de la interpretación del modelo para otros usuarios.

Los dispositivos presentan un fenómeno regular y estable. Ya este hecho es visual e intelectualmente llamativo. Que el fenómeno reproducido sea explicado por una u otra teoría es un punto a favor de su independencia y le da un margen de acción para actuar como elemento retórico. No obstante, como vemos en nuestro caso de estudio, el asentamiento de las posibles explicaciones ligadas a él es un proceso complejo donde intervienen factores sociales. De igual forma, la difusión de un método no depende sólo de sus cualidades.

Los instrumentos de medida, al generar datos, son utilizados como criterio de confiabilidad de forma irreflexiva, pero la estandarización les provee de un respaldo teórico y experimental. Junto a él, el acto de medir es definitivo en la articulación del conocimiento científico.

Hemos estudiado la función retórica del instrumento en un esfuerzo por aproximarnos al estudio de su estatus en la ciencia. El estatus del instrumento cambia con la configuración de otros elementos de la experimentación; por ejemplo, el observador, el método, el respaldo teórico, el contexto social y los recursos tecnológicos. No nos adscribimos a la propuesta de Baird, que coloca al instrumento al mismo nivel que la teoría, pero sí reconocemos la necesidad de analizar la articulación del conocimiento en medios materiales sin la mediación del lenguaje literario. Analizar la gestación,

transmisión, presentación y asimilación de las ideas en estos medios puede ser muy enriquecedor para los estudios de las ciencias químicas.

REFERENCIAS

a. Referencias bibliográficas.

Andréiev, I. (1984). *Problemas lógicos del conocimiento científico*. Moscú: Progreso.

Bachelard, G. (1975). *La actividad racionalista de la física contemporánea*. Buenos Aires: Editorial Siglo Veinte.

— — — (1976). *La paradoja del materialismo de los filósofos. De la generalidad a la especificidad. De la homogeneidad a la pureza*. En Chamizo, J. (Ed.) (2007). *La esencia de la química. Reflexiones sobre filosofía y educación*. México: UNAM.

— — — (2000). *La formación del espíritu científico*. 23a edición. México: Siglo Veintiuno.

Baird, D. (2004). *Thing Knowledge: A Philosophy of Scientific Instruments*. University of California Press.

Cassini, A. (2016). *Modelos científicos*. En *Diccionario Interdisciplinar Austral*. Editado por Claudia E. Vanney, Juan F. Franck e Ignacio Silva.

Chang, H. (2004). *Inventing Temperature. Measurement and Scientific Progress*. Oxford University Press.

Collins, H., Pinch, T. (1993). *El gólem. Lo que todos deberíamos saber acerca de la ciencia*. ESPAPDF.

Ettre, L., Zlatkis, A. (1979). *75 years of chromatography-A historical dialogue*. Elsevier Scientific Publishing Company.

Latour, B. (1987). *Science in Action. How to follow scientists and engineers through society*. Harvard University Press.

Morgan, M., Morrison M. (Ed.) (1999). *Models as mediators. Perspectives on natural and social sciences*. Cambridge University Press.

Rothbart, D., Schreifels, J. (2011). *Técnicas instrumentales de visualización en la química de superficies*. En Baird, D., Scerri, E., McIntyre, L. (Coords.) (2011). *Filosofía de la química. Síntesis de una nueva disciplina*. Fondo de Cultura Económica.

Sismondo, S. (2010). *An Introduction to Science and Technology Studies*. 2da edición. Blackwell Publishing Ltd.

b. Referencias hemerográficas:

Astorga, M. *et al.* (1990). Mijail Semionovich Tsvet y la Cromatografía. *Revista Elementos*, 2(15), 59-63.

Córdoba, M. *et al.* (2013). Acerca de la unicidad de la sustancia en química. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 13(26), 167-180.

Kara-Murza S. (1993). El rechazo de la innovación metodológica en la ciencia: La sinergia de los motivos (la recepción del método cromatográfico por los químicos). *Revista de investigación en Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 16(11) 225-239.

Lazlo, P. (2000). *Some Thoughts On Instruments*. Contribution to the London Conference, August 10/12/2000: *From the Test-tube to the Autoanalyzer: The Development of Chemical Instrumentation in the Twentieth Century*.

Mankowsky, R. *et al.* (2014). Nonlinear lattice dynamics as a basis for enhanced superconductivity in YBa₂Cu₃O₆. 5. *arXiv preprint arXiv:1405.2266*.

c. Documentos electrónicos:

Historia del molibdeno. (s/f). Recuperado el 10 de agosto de 2017, a partir de

http://www.molybdenum.com.cn/spanish/molybdenum_history.htm

Loi des proportions définies. (2016, febrero 26). *En Wikipedia, la enciclopedia libre.*

Recuperado el 18 de agosto de 2017 a partir de

https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_des_proportions_définies

Segunda revolución de la química. (2011, diciembre 5). Recuperado el 8 de agosto de 2017 a partir de

<https://www.estudiaraprender.com/2011/12/05/segunda-revolucion-de-la-quimica/>

d. Figuras:

1. Bardin. (1794). *Orrery* [Fotografía de modelo]. Greenwich, National Maritime Museum. Recuperado el 20 de marzo de 2017 de

<http://collections.rmg.co.uk/collections/objects/11224.html>

2. Ellsworth, D. (1921). *Water Wheel* [Imagen]. Recuperado el 21 de marzo de 2017 de

http://etc.usf.edu/clipart/44700/44757/44757_breast_wh.htm

3. Watson, J. & Crick, F. (1953). *Crick and Watson's DNA molecular model, England, 1953* [Fotografía de modelo]. Londres, Science Museum. Recuperado el 22 de marzo de 2017 de

<http://www.sciencemuseum.org.uk/broughttolife/objects/display?id=6145>

4. *Pulse glass filled with magenta liquid, Europe, 1770-1900* [Fotografía de modelo].

Londres, Science Museum. Recuperado el 27 de marzo de 2017 de

<http://www.sciencemuseum.org.uk/broughttolife/objects/display?id=4329>

5. Kara-Murza S. (1993). *Esquema conceptual de la cromatografía de Tzvet*. [Imagen]
Adaptado de Kara-Murza S. (1993).

6. Tsvet, M. S. (1906). *Primer cromatograma de clorofila obtenido por M. S. Tsvet.*
[Imagen] Recuperado de Astorga, M. *et al.* (1990).