

TALLER Y LABORATORIO

LEY DE PROUST DE LAS PROPORCIONES
DEFINIDAS: COMPROBACIÓN
EXPERIMENTAL

INTRODUCCIÓN

En este artículo se describe una experiencia dirigida al alumnado de primer año de Bachillerato, realizada en el IES Ciudad de los Ángeles de Madrid. Las actividades de la misma están basadas en los experimentos a partir de los cuales Louis Proust llegó a la Ley de las Proporciones Definidas.

Esta ley era ya conocida y aceptada por muchos químicos anteriores a Proust. Una de las formulaciones previas es la de Gabriel François Venel, publicada en el artículo *Mixtion*, volumen X (1765) de la *Encyclopédie*: “los principios que concurren a la formación de un mixto, lo hacen en una cierta proporción fija. [...] La observación general sobre la proporción de ingredientes es un dogma de eterna verdad, de verdad absoluta, nominal” (Gago, 1990: 34).

Para Venel esta afirmación es un dogma, Proust experimentalmente la comprueba a partir de numerosos trabajos realizados en el laboratorio de la “Cátedra de Química” del Real Colegio de Artillería de Segovia¹. Publicó la misma el año 1795 en el artículo titulado “Análisis de la mina de cobre vidriosa roxa ó del óxido roxo nativo de cobre”, en el tomo II de *Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia*.

Proust obtenía óxido de cobre en el laboratorio a partir de cobre y ácido nítrico y determinaba la proporción de oxígeno y cobre de este compuesto. Al comparar esta proporción con la que contenía el óxido de cobre procedente de distintos minerales comprobó que era la misma, llegando de este modo a “una formulación que

contiene los elementos esenciales de la ley de las proporciones definidas” (Gago, 1990: 33).

PROPUESTA DIDÁCTICA

Para la realización de las actividades aquí propuestas es importante que existan desdobles en los centros educativos que permitan dividir a un grupo numeroso en dos subgrupos de aproximadamente 15 estudiantes. Cada uno de éstos queda a cargo de un docente. De este modo se puede garantizar una mayor seguridad y operatividad. En la puesta en práctica de esta experiencia uno de los subgrupos trabaja en el laboratorio, mientras que el otro en el aula. Cada subgrupo, a su vez, se divide en equipos de dos o tres estudiantes para desarrollar diferentes actividades.

Los objetivos que se pretende que el alumnado alcance con esta propuesta son:

- Comprobar que la determinación de la fórmula de un compuesto se realiza experimentalmente.
- Entender mejor los datos en los ejercicios de determinación de fórmulas.
- Obtener un compuesto binario.
- Observar algunas propiedades características de las sustancias puras.
- Observar distintas clases de reacciones.



Figura 1. Exposición 250 años de Ingeniería Militar en España. Enunciado de la Ley de Proust, retrato del autor y material de laboratorio.

¹ El Conde de Lacy Director del Real Colegio solicitó, al Conde de Aranda embajador en París, la contratación de un profesor de prestigio para la dirección de la “Cátedra de Química”. Este encargo, con el informe favorable de Lavoisier, recayó en Proust.



Figura 2. Recetas para aligar plomo y antimonio. Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia Tomo I.

- f. Comprobar, con los datos obtenidos por los diferentes equipos, la veracidad de ley de Proust.
- g. Conocer un texto científico original.
- h. Conocer que la Química es conocimiento en continua construcción y se fundamenta en hechos experimentales.

Sesión 1. Comentario de texto

El subgrupo que se queda en el aula realiza la siguiente secuencia de actividades:

- 1º Explicación magistral del docente, con ayuda de la proyección de una presentación, sobre Proust y su contexto histórico y científico: formación académica, actividad en España, ley de proporciones definidas, otras leyes ponderales e influencia de las mismas en la teoría atómica de Dalton.
- 2º Lectura individual de dos textos originales de Proust (Anexo 1) y respuesta, trabajando en equipos, a cuestiones del mismo.
- 3º Realización de un debate con todos los equipos, moderado por el docente.
- 4º Entrega por los estudiantes a los 15 días (como máximo) de las respuestas a las cuestiones.

Sesión 2. Experiencia de cátedra y práctica de laboratorio

Simultáneamente, el otro docente, con el resto del grupo en el laboratorio, realiza la experiencia descrita por Proust en la que se obtiene artificialmente el óxido de cobre. Se hacen algunas modificaciones, de modo que se realiza este experimento de forma cualitativa. El alumnado observa esta experiencia y además se le proporciona un guión con las instrucciones de su realización (Anexo 2).



Figura 3. Material de laboratorio de la época de la demostración de la Ley de Proust.

Al finalizar la experiencia del docente, los estudiantes realizan la descomposición térmica del carbonato de cobre (II).

Cada equipo dispone de un montaje formado por: un tubo de ensayo conteniendo carbonato de cobre y conectado mediante un tubo de vidrio a otro tubo de ensayo, que en el momento de realizar la práctica se llena de una disolución de hidróxido de calcio previamente preparada, filtrada y guardada en un frasco tapado.

El montaje se hace de forma que el tubo que contenga el carbonato se pueda calentar con un mechero de alcohol.

Sesión 3. Práctica de laboratorio

Proust realizó la reducción del óxido de cobre con carbón para obtener el cobre y de esta forma calcular la proporción de los elementos en este compuesto.

Se ha probado realizar esta reacción con carbón vegetal (el que se emplea para barbacoas) y con carbón activo en polvo; en ambos casos queda siempre óxido de cobre sin reducir y además no se distinguen ya que ambos forman una masa de color negro. En el proyecto educativo *Introductory Physical Science* (IPS), de la década de los 70, se propone un modo de llevar a cabo esta separación: “Un buen procedimiento consiste en situar la mezcla en un disolvente que disuelva uno de los componentes, pero no el otro. El cobre no se disuelve fácilmente en ácido clorhídrico, como puede comprobarse. En cambio, el óxido de cobre se disuelve en ácido clorhídrico” (Haber-Schaim *et al.*, 1977a: 102).

Sin embargo, esta separación es muy engorrosa y lenta, además de producir demasiado error para la comprobación de la ley de Proust. Debido a los inconvenientes de esta reacción, para demostrar esta ley se ha empleado la síntesis del cloruro de zinc, adaptando a

nuestra realidad educativa otra experiencia también propuesta por Haber-Schaim *et al.* (1977b) en el proyecto IPS. A los estudiantes se les entregó un guión sobre la misma (Anexo 3).

CONCLUSIONES

Al término de la experiencia se realizó una encuesta al alumnado, del análisis de la misma es de destacar:

- a. Una valoración positiva de las actividades en su conjunto, siendo mayor para las actividades prácticas y menor para el comentario de texto.
- b. En el apartado de opinión personal algunos alumnos razonaron que las prácticas y las experiencias de cátedra les hacían más atractiva la asignatura, razón por la cual solicitaban que se hicieran más actividades de este tipo.

La necesidad de las demostraciones en la enseñanza de la Química, con el fin que no sea dogmática, ya lo afirmaba Proust en 1971 en el prólogo de los Anales con el título *Sobre la enseñanza de la Química*:

Para Proust la única enseñanza adecuada era aquella que ponía ante los ojos de los alumnos las operaciones químicas junto con sus resultados a modo de demostración experimental de las proposiciones manifestadas verbalmente por el profesor. Consecuentemente, sin una buena colección de **procederes** o resultados de las distintas reacciones químicas, según la terminología de la escuela de los Rouelle donde aprendió la química², se invertiría el método de transmitir los conocimientos de esta ciencia “enseñándola con *palabras*, en lugar de enseñarla *con cosas*”. Método, este último, rechazable porque sólo se basaba en la autoridad del docente “¿Acaso en el dilatado campo de los conocimientos naturales hay ciencia, o doctrina alguna admisible sólo por la mera exposición de los que enseñan?” Ahora bien, los procederes no eran algo que se pudiese comprar por encargo, sino que forzosamente debían de ser resultado del trabajo realizado por el mismo profesor”. (Gago, R., 1990: 28-29)

² Proust se formó como químico con Hilaire Rouelle en el Jardín du Roi de Paris. Con anterioridad Antoine Laurent de Lavoisier y muchos de los principales químicos de la época habían estudiado con Guillaume François Rouelle, hermano del anterior.

La validez de los procederes empleados de la metodología de los Rouelle, está históricamente demostrada por los excelentes alumnos que formaron: Lavoisier, Proust, Fausto Elhúyar, Chaveneau, Venel, etc.³

En la actualidad continúan siendo válidas estas ideas de Proust en cuanto a la enseñanza de la Química. Por lo tanto, hay que realizar experiencias de cátedra y prácticas de laboratorio, como las propuestas en el presente artículo, con las que además motivamos al alumnado al aprendizaje de esta ciencia.

REFERENCIAS

- Gago, R. (1990). “*Luis Proust y la Cátedra de Química de la Academia de Artillería de Segovia*”. Introducción a la reimpresión de Proust, L. (1791) *Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia*. Tomo I. Segovia: Academia de Artillería de Segovia.
- Haber-Schaim, U.; Cross, J. B.; Abegg, G. L.; Dodge, J. H.; Walter, J. A. (1977a) *Curso de introducción a las ciencias físicas. Guía del profesor*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Haber-Schaim, U.; Cross J. B.; Abegg, G. L.; Dodge, J. H.; Walter, J.A. (1977b) *Curso de introducción a las ciencias físicas. Libro del alumno*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Proust, L. (1795/1990). “*Análisis de la mina de cobre vidriosa roja ó del óxido rojo nativo de cobre*”. En *Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia*. Tomo II. Segovia: Academia de Artillería de Segovia.

ANEXO 1

Texto de Proust sobre la obtención del óxido de cobre en el laboratorio

Cien libras de cobre bien puro, disueltas en ácido nítrico, y destiladas hasta la total expulsión del ácido dexan constantemente ciento y veinte y cinco libras de óxido moreno obscuro. Este óxido puede sufrir por un poco de tiempo un calor capaz de hacerle asqua, sin que desprenda ningún gas; de suerte que tenemos ya aquí un termino fixo, sobre el qual podemos contar.

³ La lista de procederes de Guillaume François Rouelle se puede buscar en http://rhe.ish-lyon.cnrs.fr/cours_magistral/expose_rouelle/rouelle_liste_des_procedes.htm. Consultada en diciembre de 2016.

El óxido moreno de esta operación se halla tan oxidado quanto puede llegarlo á estar, pues queda inalterable en el ácido mariño oxigenado⁴, y éste tampoco pierde nada de su olor.

Cien libras de cobre disueltas en el ácido nítrico y precipitadas por el carbonato de potasa, dan invariablemente ciento y ochenta libras de carbonato de cobre. Si se destila este carbonato, se extraen diez libras de agua, que me parecen que le son esenciales, y que se segregan sucesivamente, y al mismo tiempo que el ácido carbónico: el carbonato se ennegrece á medida que va perdiendo sus elementos, y se reduce á ciento y veinte y cinco libras de óxido moreno obscuro, igual al anterior. La composición, pues, del carbonato de cobre, puede representarse del modo siguiente:

	Libras	
Cobre	100	
Oxígeno	25	
Ácido carbónico ⁵	45	
Agua	10	
Total	180	(Proust, 1795/1990: 5-6)

Proust realizó experimentos análogos con carbonatos de cobre de origen mineral y con otros procedentes de hornos de fundición y comparándolos con los datos del obtenido artificialmente llega a la conclusión:

Reflexionando sobre el grado de oxidación del cobre en esta mina, que es de veinticinco por ciento, no se puede menos de deducir la conformidad que halla entre las operaciones del arte y las de la naturaleza. En efecto, la oxidación de los metales en las manos del hombre, es una operación sujeta a las leyes de proporción, determinadas por la misma naturaleza, e inalterables por la voluntad humana. (Proust, 1795/1990: 5-6).

Cuestiones

- Haz un breve resumen del texto.
- Calcular la proporción entre el oxígeno y el cobre:
 - Con los datos del texto; b.- Con los datos de las masas atómicas O= 16, Cu= 63,54 y óxido de cobre (CuO); c.- Comparar ambos resultados.

⁴ El ácido mariño oxigenado es el cloro, descubierto por Scheele en 1774.

⁵ El ácido carbónico hace referencia al dióxido de carbono.

- Busca en tu libro de texto la ley de las proporciones definidas, copia su enunciado y compárala con la de Proust del texto.
- Realiza un informe sobre Proust y sus actividades en España. Indica las fuentes de información consultadas.
- Explica razonadamente tu opinión sobre:
 - La importancia de la experimentación en la Química.
 - La ciencia como conocimiento en continua construcción
 - La importancia de conocer textos científicos originales.

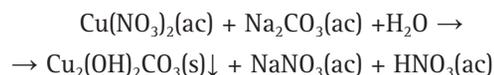
ANEXO 2

Realización experimental de la experiencia de cátedra

La reacción del ácido nítrico sobre el cobre debe realizarse en vitrina debido a la toxicidad de los gases desprendidos.

- A unos hilos de Cu se les añade HNO₃ concentrado (68% y densidad 1512 kg/m³). Como puede observarse, se desprenden unos vapores intensos de color pardo rojizo (es una mezcla de óxidos de nitrógeno, principalmente NO₂) y aparece en la disolución acuosa un color azul intenso debido a los iones Cu²⁺, según la reacción:

$$\text{Cu(s)} + \text{HNO}_3(\text{ac}) \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2(\text{ac}) + \text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$$
- Proust eliminó el exceso de ácido nítrico evaporando hasta sequedad. Por razones de toxicidad, se emplea un exceso de Cu, con el fin de que no quede ácido nítrico sin reaccionar.
- Se decanta la disolución (azul) de nitrato de cobre (II), para que no haya cobre metálico.
- A la disolución de Cu²⁺, se le añade una disolución de Na₂CO₃ (en lugar del carbonato de potasio) produciéndose un precipitado de color verdoso de carbonato básico de cobre (II), según la reacción:



Se filtra el precipitado y posteriormente se calienta en una cápsula. Al calentarlo se descompone en óxido de cobre (II) (sólido de color negro), dióxido de carbono (gas) y agua (gas).

Cuestiones

1. Sabiendo que el HNO_3 concentrado es del 68% y densidad 1512 kg/m^3 . Calcular la concentración del ácido: a.- g/L; b.- moles/L.
2. Dibuja el montaje, de la descomposición del carbonato, indicando el nombre de cada uno de los componentes y la función de los mismos.
3. Ajusta todas las reacciones escritas. Escribe las ecuaciones químicas de la descomposición térmica del carbonato básico de cobre (II) y del carbonato de cobre (II). Escribe también la reacción ajustada del hidróxido de calcio con el dióxido de carbono.
4. Compara las experiencias de Proust (descritas en el texto original) y la realizada por el profesor en el laboratorio. Escribe tus conclusiones.
5. Observa los óxidos de cobre (II), obtenidos por el profesor y por tu equipo. ¿Puedes decir que se trata de la misma sustancia? ¿Qué deberías hacer para estar seguro de que se trata del mismo compuesto?

ANEXO 3

Objetivos

- a. Determinación experimental de la fórmula de un compuesto.
- b. Verificar la ley de las proporciones definidas.

Realización experimental

1. Mide la masa del matraz Erlenmeyer que vas a emplear y añade al mismo aproximadamente 1,5 g de zinc. Anota la masa exacta de zinc que añades.

Realiza el apartado 2º y 3º en la vitrina.

2. El profesor te añadirá una cierta cantidad de ácido clorhídrico diluido en cantidad suficiente para disolver todo el zinc.
3. Una vez disuelto todo el zinc, coloca el Erlenmeyer sobre el plato de porcelana que se está calentando.

Cuadro de datos

Masa matraz	
Masa matraz + zinc	
Masa matraz + nuevo producto	
Masa de nuevo producto	
Masa de zinc	
Masa de cloro	

4. Cuando el líquido presente un aspecto espeso y blanquecino, retíralo del fuego. Atención, debes cogerlo con un trapo pues está caliente y puede producir quemaduras.
5. Déjalo enfriar durante 5 min y vuélvelo a pesar.

Cálculos

Con los datos obtenidos en el laboratorio calcula la proporción de ambos elementos en el cloruro. Determina la fórmula del compuesto. Dato de masas atómicas relativas: $\text{Zn} = 65,37$; $\text{Cl} = 35,45$.

Cuestiones

- a. Escribe la ecuación de la reacción química que se ha producido en el experimento.
- b. ¿Por qué se calienta el matraz al disolver el zinc con el ácido?
- c. ¿Qué sustancia pura se desprende en forma de gas?
- d. ¿De qué color es el residuo? ¿De qué sustancia pura se trata?
- e. Explica la razón por la que esta práctica no es correcta desde el punto de vista medioambiental.

Comprobación experimental de la ley de Proust

Cada equipo (E_1 a E_n) debe rellenar su casilla correspondiente del cuadro, con el fin de poder calcular el valor medio de las proporciones de ambos elementos y los errores absolutos (E_a) y relativos (E_r) cometidos por cada equipo.

Equipo	m_{Zn} (g)	m_{Cl} (g)	$m_{\text{Zn}} / m_{\text{Cl}}$	E_a	E_r	Comentarios
E_1						
...						
E_n						
Valor medio de $m_{\text{Zn}} / m_{\text{Cl}}$						

Alicia Coballes Redondo

Profesora de Física y Química de Enseñanza Secundaria

Ángel Coballes Rius

Catedrático de Enseñanza Secundaria