

En esta ocasión en este número de la revista la sección DE ANIVERSARIO ha reunido una serie de aportaciones sobre la enseñanza experimental de la química. ¡Qué las disfruten los lectores!

## Trabajos prácticos investigativos en química en relación con el modelo atómico-molecular de la materia, planificados mediante un diálogo estructurado entre profesor y estudiantes

Aureli Caamaño<sup>1</sup>

### Introducción

Gran parte de la ineficacia de los trabajos prácticos que se realizan en la escuela se atribuye a su presentación con un formato cerrado, es decir, como un conjunto de instrucciones que los estudiantes deben seguir sin darles ocasión para que se den cuenta de cuál es el problema que se pretende resolver ni cómo puede ser resuelto, ni qué importancia tiene en relación con los modelos teóricos que se desarrollan en las clases de ciencias. Frente a esta manera de presentar los trabajos prácticos, se propone una forma abierta en la que se plantee el problema a resolver enmarcado en la construcción del modelo químico pertinente y se ayude a los estudiantes a pensar de qué manera pueden resolverlo a través de una serie de cuestiones estructuradas, que constituyan la base de un diálogo entre profesor y estudiantes y entre estudiantes entre sí. Esta propuesta didáctica constituye una apuesta para la realización de trabajos prácticos investigativos que aborden problemas significativos en el desarrollo de los modelos teóricos escolares. Se ilustra mediante el planteamiento y la resolución de dos problemas que juegan un papel importante en la elaboración del modelo atómico-molecular de la materia: la determinación de la masa atómica relativa de un elemento y la determinación de la masa molecular de una sustancia.

### Las diferentes finalidades del trabajo práctico

Hay un gran consenso sobre la importancia del trabajo experimental en la enseñanza de las ciencias, lo que no significa que no haya habido y todavía haya un debate sobre cuáles deben ser los objetivos fundamentales de las actividades prácticas experimentales. Diversos autores (Woolnough y Allsop, 1985; Hodson, 1994; Corominas y Lozano, 1994; Gott y Duggan, 1995; Leite, 2001; Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999; Sanmartí, Márquez y García, 2002; Millar, Le Maréchal y Tiberghien, 1999; Caamaño, 2003) han dado cuenta de la diversidad de finalidades con que se utilizan los trabajos prácticos en las clases de ciencias y han propuesto

algún tipo de esquema clasificatorio en relación a los diferentes objetivos que pretenden.

### Diferentes funciones del trabajo práctico experimental en química

Sea cual sea el esquema de trabajos prácticos que se siga, creemos que el trabajo práctico experimental en las clases de química habría de permitir:

1. Aportar evidencia experimental en el aprendizaje de los conceptos (función ilustrativa de los conceptos).
2. Interpretar fenómenos y experiencias a partir de modelos conceptuales (función interpretativa de las experiencias).
3. Aprender el uso del instrumental y de las técnicas básicas de laboratorio químico (función de aprendizaje de métodos y técnicas de laboratorio).
4. Desarrollar métodos para resolver preguntas teóricas en relación a la construcción de los modelos (función investigativa relacionada con la resolución de problemas teóricos y construcción de modelos).
5. Desarrollar y aplicar métodos para resolver cuestiones de tipo práctico contextualizadas en ámbitos de la química cotidiana y de la química aplicada (función investigativa relacionada con la resolución de problemas prácticos).

### Una propuesta de clasificación

Partiendo de clasificaciones propuestas por Woolnough y Allsop (1985) y Gott y Duggan (1995), podemos clasificar los trabajos prácticos en experiencias, experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones (cuadro 1). Dentro de este esquema puede ser útil subclasificar los ejercicios prácticos en procedimentales e ilustrativos, y las investigaciones en investigaciones para resolver problemas teóricos y prácticos (Caamaño, 2004). Veamos con un poco más detalle los objetivos de cada una de estos tipos de trabajos prácticos.

- Las **experiencias** juegan un papel destacado en el conocimiento perceptivo de los fenómenos (**experiencias perceptivas**) y presentan un interés mayor si se les complementa con demandas interpretativas de los fenómenos observados (**experiencias interpretativas**), con finalidades exploratorias sobre las ideas de los estudiantes.
- Los **experimentos ilustrativos** son útiles para aportar

<sup>1</sup> IES Barcelona-Congrés (Barcelona). Centre de Documentació i Experimentació en Ciències i Tecnologia. Departament d'Educació de Catalunya, España.

Correo electrónico: acaamano@pie.xtec.es

evidencia experimental en la formación de determinados conceptos, y en la ilustración de leyes o principios. También aquí es importante promover la curiosidad por lo que ocurrirá previamente a su realización e implicar a los estudiantes en la interpretación de los fenómenos mostrados. Si el énfasis se pone en el aspecto interpretativo, más que en el ilustrativo, no hay gran diferencia entre experiencias interpretativas y experimentos ilustrativos, a no ser el carácter más frecuentemente cualitativo de las primeras. Ambos también pueden ser utilizados a modo de demostración por el profesor y discutidos e interpretados con todo el grupo clase.

- Los **ejercicios prácticos** se utilizan para aprender determinadas habilidades prácticas y procesos (**ejercicios procedimentales**) o para comprobar experimentalmente relaciones entre variables, ya conocidas a nivel teórico (**ejercicios ilustrativos o corroborativos**).
- Las **investigaciones** sirven para aprender a planificar y desarrollar pequeñas investigaciones en el decurso de la resolución de problemas teóricos (**investigaciones para resolver problemas teóricos**) o de problemas prácticos (**investigaciones para resolver problemas prácticos**).

Los **ejercicios prácticos procedimentales** suponen una visión atomista del aprendizaje de los procedimientos que implica una gradación del aprendizaje de los procedimientos antes de acometer investigaciones, mientras que los **ejercicios prácticos corroborativos** implican una visión de los trabajos prácticos que no permite que los estudiantes se planteen realmente cuál es el problema que se desea resolver ni los métodos para resolverlo. Por el contrario, las **investigaciones** tanto para resolver problemas teóricos como prácticos suponen una visión holística (global) del aprendizaje de los procedimientos, que posibilita una mejor comprensión conceptual y procedimental de la ciencia, y son actividades mucho más motivadoras.

Las **investigaciones para resolver problemas teóricos** tienen como objetivo principal aportar evidencia experimental en la formación de los modelos científicos escolares. Permiten contrastar hipótesis y determinar propiedades en el marco de teorías en proceso de elaboración escolar, además de suponer una comprensión procedimental de la ciencia. Serían ejemplos de este tipo de trabajo práctico investigar cómo varía el volumen de un gas con la temperatura en el desarrollo del modelo cinético-corpúscular de los gases, o cómo podemos determinar la masa atómica relativa de un elemento en el desarrollo del modelo atómico-molecular.

Las **investigaciones para resolver problemas prácticos** tienen como objetivo principal la comprensión procedimental de la ciencia y su contextualización práctica. Son investigaciones para resolver problemas planteados en el

#### Cuadro 1. Tipos de trabajos prácticos.

---

Experiencias perceptivas e interpretativas.

---

Experimentos ilustrativos.

---

Ejercicios prácticos:

- Para aprender habilidades prácticas y procesos.
  - Para corroborar la teoría.
- 

Investigaciones:

- Para aprender a investigar y resolver problemas teóricos (en el marco de la elaboración de modelos)
  - Para aprender a investigar y resolver problemas prácticos (aplicación de modelos)
- 

contexto de la vida cotidiana o de las aplicaciones prácticas de la ciencia. Por ejemplo, ¿qué detergente es más eficaz?, ¿cuál es el mejor antiácido de entre varios?, ¿qué cantidad de hierro contiene una pastilla para combatir la anemia?, etcétera.

El cuadro 2 muestra la relación existente entre los diferentes tipos de trabajos prácticos propuestos, de acuerdo con dos ejes: grado de apertura (cerrado-abierto) e importancia relativa de los conceptos y de los procedimientos (conceptos-procedimientos).

#### La especial importancia del trabajo práctico investigativo y la integración del trabajo práctico en la construcción de modelos

Diversos autores (Qualter *et al.* 1992; Watson, 1994; Carrascosa, 1995; Gott y Dugan, 1995; Gil y Valdés, 1996; Oldworthy y Watson, 2001; Martins, 2002; Caamaño, 2002, 2003; Garritz e Irazoque, 2004) han defendido el interés de la utilización de trabajos prácticos de carácter investigativo en las clases de ciencias. Algunos de ellos han abogado por la integración de estos trabajos prácticos como actividades esenciales en la elaboración de modelos científicos en la escuela (Gil y Valdés, 1996; Sanmartí, Márquez, García, 2002; Carrascosa, 1995; Leite y Figueroa, 2004; Caamaño y Maestre, 2004). Otros (Gil *et al.* 1999; Garritz e Irazoque, 2004) han señalado la coincidencia de objetivos de los trabajos prácticos abiertos con las actividades de elaboración de modelos conceptuales y de resolución de problemas y han sugerido la conveniencia de planificar y realizar de forma integrada estas actividades.

En artículos anteriores hemos abordado cómo transformar los trabajos prácticos tradicionales en trabajos prácticos investigativos (Caamaño, 2002), y cómo abordar conjuntamente con los estudiantes la fase de planificación de los trabajos prácticos investigativos (Caamaño y Corominas, 2004). Nuestro trabajo más reciente (Caamaño y Maestre, 2004) se centra en el desarrollo de las actividades prác-

ticas en los cursos de química que utilicen experiencias interpretativas e investigaciones de tipo teórico y práctico en el desarrollo y aplicación de los modelos fundamentales en química. En el presente artículo intentaremos presentar esta línea de trabajo desde una perspectiva que dé cuenta del conjunto de trabajos prácticos investigativos que pueden plantearse en el desarrollo del modelo atómico-molecular de la materia.

### Un proceso dialógico para la planificación de las investigaciones

Las investigaciones que pretenden determinar el valor de una propiedad importante dentro del desarrollo de un modelo podemos considerar que transcurren a través de las siguientes **fases**:

1. La fase de *planteamiento* y *percepción* del problema, en la cual el profesor plantea y contextualiza el problema a resolver, y los estudiantes han de comprenderlo y conceptualizarlo.
2. La *fase de planificación* en la que debe decidirse el método que se puede utilizar y planificar el procedimiento experimental y los cálculos que serán necesarios realizar, hasta disponer de una visión global de la investigación. Es en esta fase donde proponemos una secuencia de cuestiones estructuradas que guíen el diálogo profesor-alumnos, que debe conducir a una elaboración conjunta del procedimiento de resolución.
3. La fase de *realización*, que implica el montaje experimental, la toma de medidas y el tratamiento numérico, gráfico o informático de los datos.
4. La fase de *evaluación*, que implica la valoración del resultado o resultados obtenidos y el análisis de su plausibilidad, comparando con los resultados obtenidos por otros grupos y con los valores que puedan encontrarse tabulados.
5. La fase de *comunicación*, que implica la redacción de un informe y, siempre que se pueda, la comunicación oral de la investigación realizada.

En la descripción de las investigaciones que realizaremos a continuación intentaremos reproducir en la medida de lo posible la dinámica que se establece en el aula cuando este tipo de problemas se plantean, se planifican y se resuelven. Nos centraremos particularmente en las dos primeras fases: el **planteamiento** del problema y su **planificación**. La descripción que hacemos de la fase de planificación corresponde a un diálogo del profesor o profesora con el conjunto del grupo-clase, a partir de **preguntas claves estructuradas** que se plantean a los estudiantes para ayudarles a diseñar un método de resolución del problema. Este diálogo puede mantenerse con todo el grupo-clase (unos 15-20 alumnos),

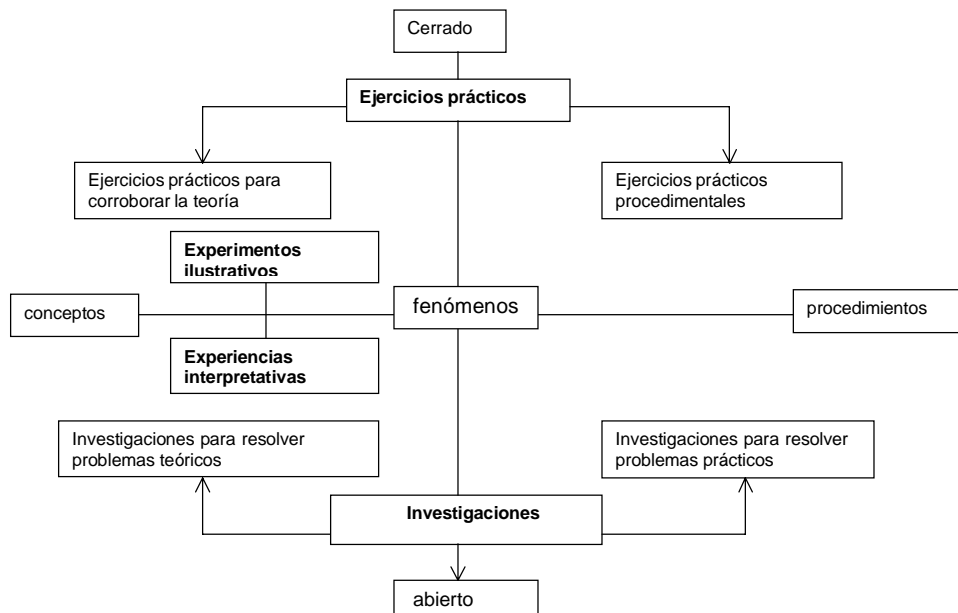
inmediatamente después de plantear cada una de las cuestiones (en un diálogo que va permitiendo elaborar entre todos el procedimiento a seguir) o bien después de haber dejado pensar a los estudiantes durante un cierto periodo de tiempo, mientras estos trabajan en pareja o en grupo. La dificultad del fundamento del método condicionará hasta qué punto iremos guiando a los alumnos en esta fase inicial. En los ejemplos descritos el fundamento conceptual del método es presentado por el profesor o profesora mientras que las cuestiones más concretas del procedimiento experimental que será necesario aplicar son planteadas a los estudiantes.

### Trabajos prácticos investigativos integrados en la construcción del modelo atómico-molecular de la materia

Algunas de las cuestiones que pueden ser abordadas mediante experiencias interpretativas y actividades experimentales investigativas en la construcción del modelo atómico-molecular de la materia son:

- ¿Cómo identificar diferentes sustancias?
- ¿Cómo saber si una sustancia es una sustancia simple o está compuesta de otras más simples?
- ¿Cómo evidenciar la permanencia de un elemento en un ciclo de reacciones químicas?
- ¿Qué propiedades son útiles para ordenar y clasificar los elementos químicos?
- ¿Cómo podemos determinar la masa atómica relativa de un elemento?
- ¿Cómo podemos saber cuál es la fórmula de un compuesto?
- ¿Cómo determinar la masa molecular relativa de una sustancia?
- ¿Cómo estimar el volumen de una molécula?
- ¿Cómo estimar el número de moléculas de una muestra de sustancia?
- ¿Cómo estimar la constante de Avogadro?
- ¿Cómo saber experimentalmente si una sustancia es molecular o está formada por una estructura gigante?
- ¿Cómo aportar evidencias experimentales de la existencia de iones en solución?
- ¿Cómo mostrar el comportamiento independiente de los iones en una solución?
- ¿Cómo determinar experimentalmente la carga eléctrica de un ión?
- ¿Cómo distinguir experimentalmente entre sustancias moleculares, covalentes, iónicas y metálicas?
- ¿Cómo diferenciar experimentalmente entre líquidos polares y apolares?

Todas estas cuestiones están íntimamente relacionadas con conceptos y modelos que se desarrollan para clasificar la

**Cuadro 2.** Relación entre los diferentes tipos de trabajos prácticos (Caamaño, 2004).

materia y construir el modelo atómico-molecular: sustancia, reacción química, sustancia simple, compuesto, elemento químico, átomo, molécula, ión, estructura molecular, estructura gigante iónica, covalente y metálica, etcétera. Según cómo se planteen pueden servirnos de contrastación de hipótesis en la construcción del modelo atómico-molecular, como aportación de evidencia experimental de hipótesis ya establecidas o como una manera de obtener un mayor conocimiento sobre las características del modelo. El alto grado de apertura con el cual se propone que sean realizadas las investigaciones para responder a estas cuestiones permite además que sean útiles para el aprendizaje y la comprensión de las estrategias de investigación.

Una descripción de estos trabajos prácticos puede encontrarse en el dossier “Treballs pràctics de Química. Batxillerat” (Caamaño y Corominas, 2002), que puede ser consultado en versión electrónica, si bien no todos los guiones tienen una forma abierta como la que aquí proponemos. Por el contrario, un ejemplo claro de integración del trabajo práctico interpretativo e investigativo en el desarrollo de un modelo lo constituye la propuesta didáctica de construcción del concepto de ión y del modelo de electrólito a partir de la interpretación de la electrólisis y las propiedades de las soluciones de los electrólitos, desarrollada por el Grup Recerca (1983) (Caamaño y Maestre, 2004). La construcción del modelo transcurre a través de preguntas como las siguientes: ¿cómo interpretar la conductividad eléctrica de las soluciones de electrólitos?, ¿cómo podemos tener evidencia

de la migración de los iones en la electrólisis?, ¿qué les pasa a los iones cuando llegan a los electrodos?, ¿cómo podemos determinar la carga que tienen los iones?, ¿existen ya iones en la solución de un electrólito antes del paso de la corriente eléctrica?, ¿pueden existir iones antes de la disolución de un electrólito en agua?, etcétera.

A continuación se describen dos de las investigaciones citadas de gran interés en el establecimiento y consolidación de la teoría atómico-molecular, que constituyen ejemplos del tipo de trabajo práctico que se ha clasificado como investigaciones para resolver problemas teóricos:

- ¿Cómo determinar la masa atómica relativa de un elemento?
- ¿Cómo determinar la masa molecular relativa de una sustancia?

### **Ejemplo 1. ¿Cómo determinar la masa atómica relativa del magnesio?**

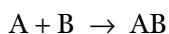
#### *Planteamiento del problema*

El planteamiento de este problema requiere situarlo en el contexto histórico en que fue relevante, a inicios del siglo XIX, cuando Dalton formuló la teoría atómica de la materia y señaló la masa atómica como una de las propiedades diferenciadoras de cada elemento químico. Como es sabido, para la determinación de las masas atómicas relativas de los átomos, los químicos de la época de Dalton tomaron como referencia la masa del átomo de hidrógeno por ser el elemen-

to más ligero. Nos planteamos encontrar un método para determinar la masa atómica relativa del magnesio siguiendo el razonamiento que se utilizó en la época de Dalton.

#### Planificación: fundamento del método

El fundamento del método utilizado en la época de Dalton era hacer reaccionar un elemento con otro elemento de masa atómica relativa conocida, y deducir de las masas que reaccionaban la relación entre las masas de los átomos de cada elemento, en el supuesto que reaccionaran átomo a átomo (o en otra supuesta proporción). Por ejemplo, si la reacción entre los elementos A y B tuviera lugar a nivel atómico según la reacción:



Es evidente, que si medimos las masas que reaccionan de A y de B, podremos establecer la relación:

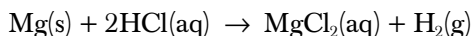
$$\frac{\text{masa (A)}}{\text{masa (B)}} = \frac{\text{masa de un átomo de A}}{\text{masa de un átomo de B}}$$

y de este modo conocer la masa relativa de A respecto de B.

#### Planificación: diseño experimental del método

##### • ¿Qué reacción podemos utilizar?

La información dada hasta el momento podría ser suficiente para lanzar la pregunta siguiente: ¿Con qué sustancia podríamos hacer reaccionar el magnesio para poder determinar su masa atómica relativa? Si hemos comentado que el hidrógeno fue el elemento que se tomó como referencia, es lógico esperar que los estudiantes contesten que podría hacerse reaccionar el magnesio con el hidrógeno. Pero, ésta no es una reacción fácil de llevar a la práctica. ¿No podríamos utilizar una reacción más fácil, aunque el hidrógeno no apareciera como reactivo sino como producto? ¿Qué reacción del magnesio produce hidrógeno? “La reacción del magnesio con un ácido” puede contestar cualquier estudiante. En efecto se trata de la típica reacción de un metal activo con un ácido. Si utilizamos ácido clorhídrico, la ecuación de la reacción sería:



que nos indica que se obtiene una molécula de hidrógeno por cada átomo de magnesio que reacciona.

##### • ¿Qué medidas es preciso realizar?

Una posible respuesta: “Medir la masa del magnesio que reacciona y la masa del hidrógeno que se forma”. Con estas masas podríamos establecer la relación siguiente:

$$\frac{\text{masa del magnesio que reacciona}}{\text{masa del hidrógeno que se forma}} = \frac{\text{masa de un átomo de magnesio}}{\text{masa de una molécula hidrógeno}}$$

Y teniendo en cuenta que la masa de una molécula de hidrógeno es igual a dos veces la masa de un átomo de hidrógeno, podríamos determinar la relación:

$$\frac{\text{masa de un átomo de magnesio}}{\text{masa de un átomo de hidrógeno}}$$

que es justamente la masa atómica relativa del magnesio,  $A_r(\text{Mg})$ , de acuerdo con la definición con que trabajamos.

Llegados a este punto, ya tenemos el marco de referencia teórico y el procedimiento general sobre el que basar la resolución del problema propuesto. Ahora nos es preciso pensar con más detalle el *procedimiento experimental* concreto. Las preguntas que nos hacemos son: ¿cómo medir la masa de magnesio? y ¿cómo medir la masa de hidrógeno?

##### • ¿Cómo medir la masa del magnesio y la masa del hidrógeno?

La medida de la masa de magnesio no ofrece gran dificultad, ya que se puede hacer con unas balanzas antes de iniciar la reacción. Algo más complicado es la medida de la masa del hidrógeno que se desprende, por tratarse de un gas. Sería necesario recogerlo para poderlo pesar o medir indirectamente su masa a partir de la disminución de masa de la solución reaccionante.

Un estudiante nos respondió recientemente lo siguiente en una sesión en que planteamos esta cuestión: “Teniendo en cuenta que el hidrógeno que se produce no es soluble y se escapa del sistema, podríamos pesar el sistema reaccionante (vaso, magnesio y solución de ácido clorhídrico) al inicio y al final y, por diferencia, obtener la masa del hidrógeno que se ha producido”. Éste es evidentemente el procedimiento más sencillo, lo que ocurre es que presenta algunos inconvenientes. Debido a la pequeña densidad del gas hidrógeno, sería necesario utilizar una relativa importante cantidad de magnesio para poder apreciar con las balanzas de que disponemos la disminución de la masa debido al hidrógeno que se escapa. Y hacer esto implicaría obtener cantidades apreciables de hidrógeno, que es muy inflamable. Si descartamos esta opción la otra posibilidad es recoger el hidrógeno que se desprende y medir su volumen, y realizar una determinación indirecta de la masa del hidrógeno a partir de su volumen y su densidad.

##### • ¿Cómo recoger el gas hidrógeno y medir su volumen?

De nuevo existen varias posibilidades para resolver este subproblema. La respuesta de los estudiantes dependerá del conocimiento que puedan tener sobre los métodos de recogida de gases. Obviamente recoger el gas hidrógeno en un recipiente rígido no es aconsejable, por el peligro que entraña el aumento de la presión que se produciría y por obligarnos a medir la presión interior del gas. Una solución puede

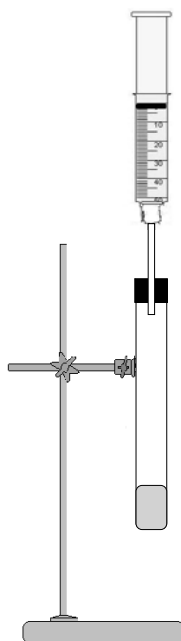


Figura 1.

ser recogerlo en un recipiente con una pared móvil como, por ejemplo, una jeringa graduada (figura 1). En tal caso la presión del hidrógeno será igual a la presión atmosférica.

Otra posibilidad puede ser, aprovechando que el hidrógeno es insoluble en agua, recogerlo sobre agua. Ésta es una técnica que es difícil que se les ocurra a los estudiantes si no la han utilizado previamente. La figura 2 muestra el dispositivo experimental que puede utilizarse.

• **¿Cómo calcular la masa de hidrógeno a partir de su volumen?**

Para calcular la masa de hidrógeno seco obtenido precisamos conocer su densidad y para ello necesitamos conocer la temperatura y la presión a que se encuentra. La temperatura la podemos medir con un termómetro. La presión puede tomarse en primera instancia igual a la presión atmosférica. Una determinación más exacta requiere descontar la presión hidrostática debida a la columna de agua en el tubo. Y una determinación todavía más exacta, descontar la presión parcial debida al vapor de agua. Otra opción es calcular la masa de hidrógeno a través de la ecuación de estado de un gas ideal. De hecho esta ecuación puede utilizarse para

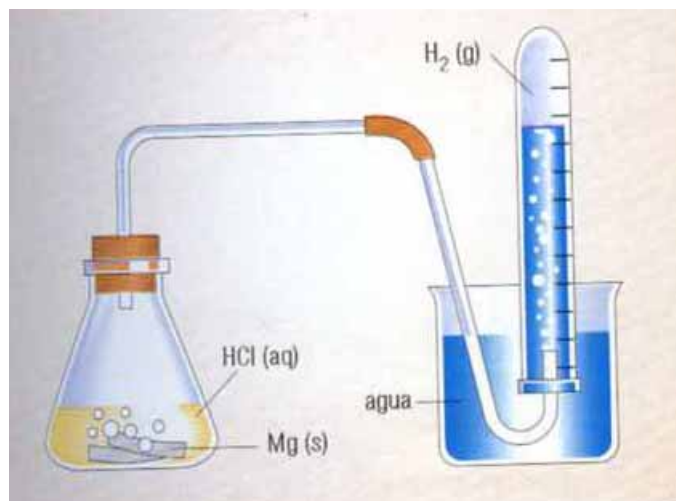


Figura 2.

calcular la densidad del hidrógeno y darla como dato a los estudiantes, en el caso que todavía no hayan estudiado la ecuación de los gases ideales.

La corrección por la presión puede evitarse si extraemos el tubo con el hidrógeno, tapando su extremo inferior con el dedo o con una placa de vidrio, y lo trasladamos y sumergimos en una probeta suficientemente larga (figura 3). Desplazando el tubo graduado hacia abajo podemos hacer que coincidan los dos niveles de agua, el interior del tubo graduado y el exterior de la probeta, con lo cual la presión del gas interior será igual a la presión atmosférica.

El cuadro 3 muestra el conjunto de cuestiones estructuradas a través de las cuáles puede mantenerse un diálogo con los estudiantes en la fase de planificación, y las instrucciones que recuerden las tareas que deben realizarse en el resto de las fases de la investigación.

**Ejemplo 2. ¿Cómo determinar la masa molecular relativa de una sustancia gaseosa o de una sustancia líquida volátil?**

*Planteamiento del problema*

La determinación de la masa molecular de una sustancia constituyó un problema fundamental en el desarrollo de la teoría atómico-molecular. Su conocimiento era necesario para la determinación de las fórmulas moleculares de las sustancias simples y también de los compuestos moleculares, una vez conocida su fórmula empírica. El problema tuvo una primera solución en el caso de sustancias gaseosas, debido a la peculiar estructura de los gases, que permitió establecer una relación simple entre la densidad relativa de los gases y las masas moleculares relativas de sus moléculas. La investigación puede plantearse con dos gases, por ejemplo, aire y butano. O bien con dos líquidos volátiles, por ejemplo, etanol y acetona, que son fácilmente vaporizables. En ambos casos se supone conocida la masa molecular relativa de una de las sustancias y el problema es determinar el valor de la otra. Nos plantearemos únicamente el segundo caso, en concreto, la determinación de la masa molecular relativa de la acetona.

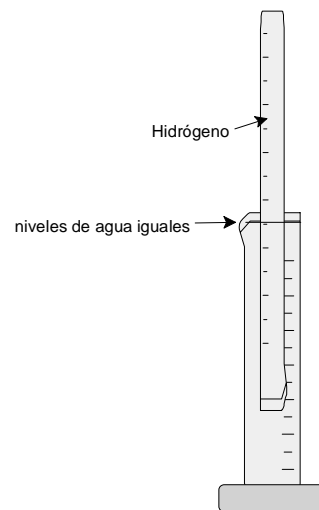


Figura 3.

**Cuadro 3.** Guión abierto para guiar la planificación y realización de la investigación: ¿Cómo determinar la masa atómica relativa del magnesio?

### ¿Cómo determinar la masa atómica relativa del magnesio?

#### Planteamiento del problema

Contextualización histórica del problema y del tipo de método que se utilizó.

#### Planificación: fundamento del método

- ¿Qué método indirecto de medida podemos utilizar?

#### Planificación: diseño experimental del método

- Diseña un método que permita medir la masa atómica relativa del magnesio, escríbelo en tu libreta, ayudándote de los dibujos que sean necesarios, y discútelo con tu profesor o profesora antes de llevarlo a la práctica.
  - ¿Qué reacción podemos utilizar?
  - ¿Qué medidas y cálculos es preciso realizar?
  - ¿Cómo medir la masa del magnesio y la masa del hidrógeno?
  - ¿Qué cantidad de magnesio es conveniente utilizar?
  - ¿Cuál es la concentración más adecuada del ácido clorhídrico?
  - ¿Cómo podemos recoger el gas hidrógeno y medir su volumen?
  - ¿Cómo se puede calcular la masa de hidrógeno a partir de su volumen?
  - ¿Cómo se puede mejorar el dispositivo experimental para evitar pérdidas de hidrógeno?
- Haz un esquema definitivo del procedimiento y del dispositivo que piensas utilizar y una lista del material y productos que precisas.

#### Realización experimental

- Monta el dispositivo experimental, lleva a cabo la reacción y mide la masa del magnesio y el volumen del gas hidrógeno obtenido a presión atmosférica.

#### Tratamiento de los datos

- Realiza los cálculos para obtener el valor de la masa atómica relativa del magnesio.

#### Evaluación del resultado

- ¿Es el resultado plausible?
- Compara el resultado obtenido con un valor tabulado.
- Calcula el error relativo cometido. ¿Cuáles pueden ser las causas del error?

#### Comunicación de la investigación

- Escribe un informe que describa la investigación realizada y el resultado obtenido.
- Prepara una exposición oral de la investigación realizada con la ayuda de transparencias o un Power-Point.

### Planificación: fundamento del método

La hipótesis de Avogadro, según la cual volúmenes iguales de gases diferentes en las mismas condiciones de presión y temperatura contienen el mismo número de moléculas  $N$ , nos da la clave para diseñar un método indirecto de comparar las masas moleculares de dos gases. El fundamento del método consiste en medir la masa de volúmenes iguales de dos gases o de los vapores procedentes de dos líquidos volátiles y establecer la relación:

$$\frac{\text{masa del gas A}}{\text{masa del gas B}} = \frac{N(\text{moléculas}) \times \text{masa de la molécula A}}{N(\text{moléculas}) \times \text{masa de la molécula B}}$$

De acuerdo con la hipótesis de Avogadro, a igualdad de presión y temperatura, volúmenes iguales del gas A y del gas B contendrán el mismo número de moléculas  $N$ . En consecuencia,

$$\frac{\text{masa del gas A}}{\text{masa del gas B}} = \frac{\text{masa de la molécula A}}{\text{masa de la molécula B}} = \frac{M_r(\text{A})}{M_r(\text{B})}$$

la relación entre sus masas será igual a la relación entre la masa la molécula A y la masa de la molécula B, o lo que es lo mismo, entre la masa molecular relativa de A y la masa molecular relativa de B. Si conocemos la masa relativa de la molécula B, podremos calcular la masa molecular relativa de la molécula A. Desarrollaremos a continuación la planificación experimental para determinar la masa molecular relativa de la acetona, supuesta conocida la masa molecular del etanol.

### Planificación: diseño del método experimental

- **¿Cómo determinar la masa molecular relativa de la acetona?**

En primer lugar será necesario vaporizar una muestra de acetona en un recipiente de un volumen determinado y medir la masa del vapor que ocupa este volumen, y realizar después el mismo proceso en el mismo recipiente o en otro idéntico con una muestra de etanol. Es importante no utilizar una muestra muy grande de acetona y de etanol para evitar tener que esperar mucho tiempo hasta que se evapore totalmente. Una vez vaporizada nos interesará determinar la masa del vapor de acetona que ha ocupado este volumen, y posteriormente, la masa del vapor de etanol que ha ocupado el mismo volumen.

- **¿Cómo vaporizar la acetona? / ¿Qué recipiente utilizar para recoger el vapor?**

Se puede vaporizar la muestra de acetona en el interior de un erlenmeyer, calentándola mediante un baño María y dejar que el vapor ocupe todo el volumen del erlenmeyer. Lo mismo podemos hacer posteriormente con la muestra de etanol, si tenemos en cuenta que ambos vapores tienen temperaturas de ebullición por debajo de los 100°C.

- **¿Cómo asegurarnos que los dos vapores se encuentran a la misma temperatura?**

Si el erlenmeyer lo mantenemos totalmente sumergido en el agua hirviendo nos aseguramos que ambos vapores se encuentran a la misma temperatura: 100°C, si la presión atmosférica es de 1 atm.

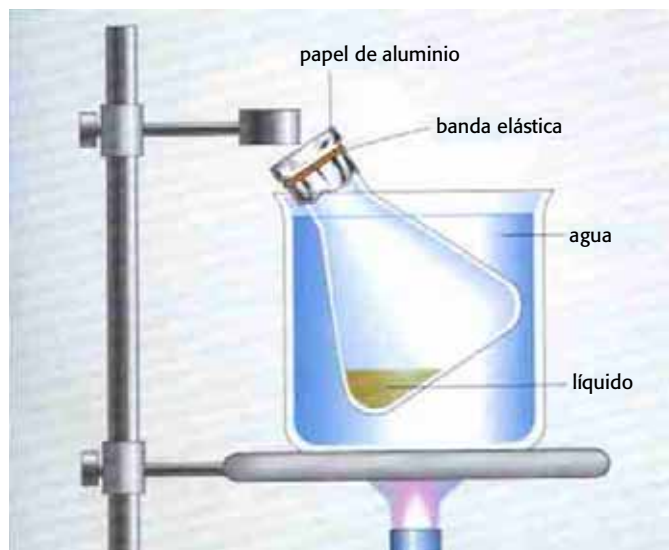
- **¿Cómo asegurarnos que los dos vapores se encuentran a la misma presión?**

Para asegurarnos que la presión de ambos vapores sea la misma, lo mejor será dejar escapar el vapor hasta que el que quede en el erlenmeyer se encuentre a la misma presión que la atmosférica. A partir de este momento dejará de salir vapor. Para que esto ocurra así el erlenmeyer no debe estar cerrado, pero tampoco conviene que esté del todo abierto porque entonces podría entrar de nuevo aire. Una solución adecuada puede ser tapar la boca del erlenmeyer con papel de aluminio rodeado de una goma elástica, y realizar con una aguja un pequeño orificio en el centro del papel. La figura 4 muestra el montaje que puede utilizarse. Para saber cuando ya no sale más vapor por el orificio bastará ir oliendo a intervalos regulares, dado el olor característico de la acetona y del etanol.

- **¿Cómo podemos saber la masa de cada uno de los vapores recogidos?**

Afortunadamente trabajar con vapores nos permite medir fácilmente la masa del vapor, sin más que dejarlo enfriar y pesar el líquido condensado. Obviamente necesitamos haber pesado previamente la masa del erlenmeyer vacío y bien seco. Del mismo modo el erlenmeyer que contiene el vapor condensado debe también secarse muy bien externamente. Esta investigación permite a los estudiantes darse cuenta del gran volumen que ocupa el vapor en relación con el pequeño volumen que ocupa una vez condensado.

El cuadro 4 muestra la secuencia de cuestiones estructuradas que puede utilizarse para planificar el fundamento del



**Figura 4.** Dispositivo para determinar la masa molecular relativa de una sustancia volátil.

**Cuadro 4.** Esquema de cuestiones estructuradas para planificar la investigación: ¿Cómo determinar la masa molecular relativa de la acetona?

#### ¿Cómo determinar la masa molecular relativa de la acetona?

##### Planteamiento del problema

Se trata de idear un método para determinar la masa molecular de la acetona, un líquido volátil, que puede ser vaporizado fácilmente, con lo que el problema pasa a ser cómo determinar la masa molecular relativa de un vapor (gas).

##### Planificación: Fundamento del método

La medida directa de la masa molecular relativa de las moléculas de un gas no es posible, así que deberemos pensar en un método de medida indirecto, a través de una propiedad que sí podamos medir con la que esté relacionada.

- ¿Qué propiedad de un gas está relacionada con la masa de sus moléculas? ¿Has observado alguna vez el diferente comportamiento de los gases según sea su densidad (masa/volumen) respecto del aire, por ejemplo, cuando se infla un globo y se deja libre?
- La hipótesis de Avogadro dice que volúmenes iguales de dos gases diferentes contienen el mismo número de moléculas. ¿Qué relación crees que habrá entre las masas de volúmenes iguales de dos gases y sus masas moleculares? Para ayudarte a responder puedes visualizar la situación haciendo un dibujo de dos gases diferentes encerrados en dos recipientes de igual volumen, en el que representes el mismo número de moléculas de cada uno de ellos.
- Piensa cómo podríamos calcular la masa molecular de la acetona mediante la comparación de la masa de dos volúmenes iguales de vapor: uno de acetona, y otro, de un líquido también volátil, como el etanol, de masa molecular conocida.

##### Planificación: Diseño experimental del método

- ¿Qué método podemos utilizar para volatilizar un líquido volátil? ¿Qué recipiente podemos utilizar para vaporizar cada líquido y recoger el vapor?
- ¿Cómo podemos hacer para que el vapor producido salga poco a poco del recipiente, arrastrando el aire que hay en su interior y, de este modo, quede todo el recipiente lleno de vapor a la presión atmosférica?
- ¿Cómo podemos asegurarnos que la temperatura del vapor sea la misma en las dos mediciones, con la acetona y con el etanol?
- ¿Cómo podemos determinar la masa del vapor que llena todo el recipiente?

método y el procedimiento experimental para determinar la masa molecular relativa de la acetona. Las tareas correspondientes a las fases de realización experimental, cálculos, obtención y evaluación del resultado, y comunicación, serían análogas a las utilizadas en el cuadro 3.

#### ¿Puede utilizarse un método alternativo?

En lugar de utilizar un método comparativo entre las masas de volúmenes iguales de vapor de acetona y de etanol, podríamos realizar sólo la medida de la masa del vapor de la acetona, y medir el volumen (capacidad) del erlenmeyer, la temperatura del agua hirviendo (supuestamente igual a la del vapor en el interior del erlenmeyer) y la presión



atmosférica en el momento en que realizamos la experiencia. Con todos estos datos podríamos aplicar la ecuación de estado de un gas ideal ( $pV = nRT$ ) y obtener la cantidad  $n$  de vapor (moles de moléculas). Y a partir de este dato y la masa del vapor deducir la masa molar de la acetona ( $M = m/n$ ), la cual es numéricamente igual a su masa molecular relativa ( $M_r$ ).

Este método, aunque quizás más breve, puesto que únicamente requiere la vaporización y medida de la masa de una única sustancia, supone en cambio un mayor número de medidas (volumen del erlenmeyer, temperatura del agua y presión atmosférica) y unos cálculos más complejos, que requieren el conocimiento del mol y de la ecuación de estado de un gas ideal. Por otro lado, lo que hace mucho más interesante el primer método expuesto es su capacidad para visualizar la hipótesis de Avogadro en el contexto de una investigación y de apreciar su importante utilidad para resolver el problema propuesto.

### A modo de conclusión

Las cuestiones estructuradas que hemos ido planteando permiten ir avanzando en la resolución del problema conjuntamente con los estudiantes. Unas han permitido comprender el problema a resolver y pensar un método de resolución, otras han permitido ir precisando el procedimiento, decidiendo qué variables debían ser medidas y cómo debían ser medidas; otras nos han permitido pensar sobre correcciones o dispositivos alternativos para mejorar la exactitud del resultado; por último, otras han permitido obtener y evaluar el resultado.

A lo largo de cada investigación los estudiantes han estado “acompañados” por el profesor o la profesora. La fase de presentación del problema y planificación del método, puede haber transcurrido perfectamente en el aula; la fase de la realización de la experiencia necesariamente ha de tener lugar en el laboratorio, y la fase de tratamiento de los datos, y de obtención y evaluación del resultado, puede muy bien volver a tener lugar en el aula. Los estudiantes trasladan a su cuaderno de trabajo todo lo que el profesor les plantea, y las soluciones que se van proponiendo para encontrar un método adecuado. También el diseño que van a aplicar, las medidas y cálculos que realizan, y el resultado final que obtienen. Sólo cuando se ha finalizado la última fase, puede pedirse a los estudiantes que realicen un informe escrito o una presentación oral que sintetice la investigación realizada.

Como decíamos al inicio, muchos trabajos de investigación muestran que la principal causa de ineficacia y de falta de motivación por el trabajo práctico viene dada por una presentación cerrada de estas actividades mediante guiones tipo “receta de cocina”. Las respuestas a las cuestiones planteadas en la planificación de las investigaciones que acabamos de considerar son justamente las que vienen dadas

en los protocolos cerrados de prácticas que se utilizan tradicionalmente. Así pues se trata de ir preguntándose por cada acción a realizar conjuntamente con los estudiantes, en lugar, de darles instrucciones sin más. Incluso, un profesor que deseara ofrecer a sus estudiantes una orientación inicial mucho mayor para la realización de la investigación que la que aquí hemos propuesto, ganaría mucho si en lugar de una serie de instrucciones ofreciera un documento con las preguntas estructuradas y respuestas que hemos ejemplificado.

Los guiones abiertos propuestos, que pueden venir acompañados de hojas de ayuda y de unas orientaciones para el profesorado (del estilo de las consideraciones previas que acompañan a cada cuadro), constituyen una excelente manera de presentar por escrito un trabajo investigativo y guiar su resolución. Pero, en nuestra opinión, su mayor utilidad reside, en sugerir las cuestiones que el profesor o profesora puede plantear a sus alumnos a la manera del diálogo para planificar conjuntamente la investigación. Un guión menos abierto también podría ser seguido por los propios estudiantes por sí solos después de una presentación con intervenciones posteriores del profesor. Es evidente que cabe una variedad de grados de apertura y de formas de utilización de estos guiones, según el tipo y complejidad de las investigaciones propuestas y el grado de conocimiento conceptual y procedimental de los estudiantes.

La principal objeción que se presenta a un planteamiento abierto como el que acabamos de proponer es que requiere más tiempo. Y esto es cierto. Pero, ¿acaso no es mejor hacer menos prácticas y que éstas sean más provechosas e ilustrativas de lo que es el trabajo científico? Otra dificultad fundamental para la incorporación de este enfoque abierto en los trabajos prácticos es que supone un cambio de mentalidad sobre la labor del profesor en las clases de trabajos prácticos. Por lo que respecta a este último punto, creemos que tan sólo la oportunidad de vivir experiencias compartidas en seminarios y talleres con otros profesores, de reflexionar en equipo y de experimentar con los estudiantes estos enfoques más abiertos, podrá permitirnos avanzar en la transformación de los trabajos prácticos en una actividad más motivadora, creativa y eficaz para el aprendizaje de la comprensión conceptual y procedimental de la ciencia.

### Referencias bibliográficas

- Caamaño, A., Experiencias e experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones. ¿Una clasificación útil para los trabajos prácticos?, *Alambique*, 39, 8-19, 2004.
- Caamaño, A., ¿Cómo transformar los trabajos prácticos tradicionales en trabajos prácticos investigativos?, *Aula de innovación educativa*, 113-114, 21-26, 2002.
- Caamaño, A., Los trabajos prácticos en ciencias, en M.P. Jiménez (coord.), A. Caamaño, A. Oñorbe, E. Pedrinaci,

- A. de Pro., *Enseñar Ciencias*, Barcelona. Gráo, cap. 5, 95-118, 2003.
- Caamaño, A., Corominas, J. (eds.), *Treballs pràctics de Química. Materials de formació. Batxillerat*. Departament d'Ensenyament. Generalitat de Catalunya, Barcelona, España, 2002. Puede consultarse en la dirección electrónica: <http://www.xtec.es/cdec/secundaria/pagines/practicq.htm>
- Caamaño. A., Corominas, J. ¿Cómo abordar con los estudiantes la planificación de los trabajos prácticos investigativos? *Alambique*, 39, p.52-63, 2004.
- Caamaño, A., Maestre, G. La construcción de concepto de ión, en la intersección entre el modelo atómico-molecular y el modelo de carga eléctrica, *Alambique*, 42, 29-40, 2004.
- Carrascosa, J., Trabajos prácticos de física y química como problemas, *Alambique*, 5, 67-76, 1995.
- Corominas, J., Lozano, M.T., Trabajos prácticos para la construcción de conceptos: experiencias y experimentos ilustrativos, *Alambique*, 2, 21-26, 1994.
- Garriz, A., Irazoque, G., El trabajo práctico integrado con la resolución de problemas y el aprendizaje conceptual en la química de los polímeros, *Alambique*, 39, 40-51, 2004.
- Gil, D., Valdés, P., La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo, *Enseñanza de las Ciencias*, 14[2], 155-163, 1996.
- Gil, A. et al., Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de papel y lápiz y realización de prácticas de laboratorio, *Enseñanza de las Ciencias*, 17[2], 311-320, 1999.
- Gott, R., Duggan, S., *Investigative work in the science curriculum*. Open University, 1995.
- Grup Recerca, ¿Cómo establecer el concepto de ión? Un estudio de los iones en disolución, *Cuadernos de Pedagogía*, 90, 57, 1983.
- Hodson, D., Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio, *Enseñanza de las Ciencias*, 12[3] 299-313, 1994.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N., Espinet, M. Fundamentación y diseño de prácticas escolares de Ciencias Experimentales, *Enseñanza de las Ciencias*, 17[1], 45-60, 1999.
- Leite, L. Contributos para uma utilização mais fundamentada do trabalho laboratorial no ensino das ciências”, *Boletim das Ciências*, 51, 83-92, 2001.
- Leite, L., Figueiroa, A. Las actividades de laboratorio y la explicación científica en los manuales escolares de ciencias. *Alambique*, 39, 20-30, 2004.
- Martins, I., Aprender a llevar a cabo una investigación en los primeros años de escolaridad, en *Aula de innovación educativa*, 113-114, 14-17, 2002.
- Millar, R., Le Maréchal, J., Tiberghien “Mapping’ the domain. Varieties of practical work” en: J. Leach & A.C. Paulsen (eds.). *Practical work in Science Education*. Roskilde University Press/ Kluwer Academic Publishers, 33-59, 1999.
- Qualter, A., Strang, J., Swatton, P., Taylor, R., *Exploration. A way of learning science*. Blackwell Education, Oxford, RU, 1990.
- Sanmartí, N., Márquez, C., García, P., Los trabajos prácticos, punto de partida para aprender ciencias, *Aula de innovación educativa*, 113-114, 8-13, 2002.
- Watson, R., Diseño y realización de investigaciones en las clases de ciencias, *Alambique*, 2, 57-65, 1994.
- Woolnough, B., Allsop, T., *Practical work in science*, Cambridge Educational, 1985.