

# Educación en la Química

ISSN 0327-3504

**Revista de la Asociación de Docentes en la Enseñanza de la Química  
de la República Argentina**

## **Educación en la Química**

es una publicación semestral de la Asociación de Docentes en la Enseñanza de la Química de la República Argentina, ADEQRA, Personería Jurídica N° 8933 que se distribuye gratuitamente a los miembros de esta Asociación. Es una revista que busca contribuir a la interrelación entre los docentes y los investigadores de las ciencias químicas y de la educación química. En ella se dan a conocer experiencias de aula, resultados de investigaciones, avances tecnológicos, noticias científicas, y todo otro aporte original que oriente el enriquecimiento y profesionalización del docente de química y colabore en el mejoramiento de su tarea.

Los editores agradecen cartas, ideas, sugerencias y artículos que puedan resultar de utilidad a otros colegas.

El contenido de los artículos firmados es responsabilidad de sus autores.

Se recomienda cautela al realizar los experimentos y demostraciones que se proponen.

*Se autoriza la reproducción de los materiales, citando la fuente. (Título clave abreviado: Ed. en la Quim.)*

## **Editor Responsable**

**Luz Lastres Flores**

(ex-Universidad de B. Aires)

## **Co-editora**

**M. Gabriela Lorenzo**

(Universidad de B. Aires)

## **Editores Asociados**

**Mónica Steinman**

(ISP J. V. González, B. Aires)

**Liliana Knabe**

(Instituto Belgrano, Berazategui, B. Aires)

## **Consejo Asesor**

**Daniel Bartet** (UMCE, Chile)

**Erwin Baumgartner** (Universidad de B. Aires)

**Faustino Beltrán** (Acad. Argentina de Artes y Ciencias de la Comunicación)

**Marta Bulwik** (ex-ISP J. V. González, B.A.)

**Raúl Chernikoff** (Universidad N. de Cuyo)

**Norma D'Accorso** (Universidad de B. Aires)

**Lilia Davel** (Universidad de B. Aires)

**Lydia Galagovsky** (Universidad de B. Aires)

**Andoni Garritz** (UNAM, México)

**Hernán Miguel** (Universidad de B. Aires)

**Norma Nudelman** (Universidad de B. Aires)

**Héctor Odetti** (Universidad N. del Litoral)

**Laura Vidarte** (ISP J. V. González,

B.A.)

Este número se edita con el aporte de un subsidio del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología

EdenlaQuim-ADEQRA. Depto de Química, Instituto Superior del Profesorado Dr Joaquín V. González. Av. Rivadavia 3577-2° piso (1204) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina e-mail: [edenlaq@adeqra.com.ar](mailto:edenlaq@adeqra.com.ar)



**ADEQRA**, Asociación de Docentes en la Enseñanza de la Química de la República Argentina, Personería Jurídica N° 8933, es una asociación sin fines de lucro que reúne a docentes de los diferentes niveles educativos de nuestro país, interesados en la formación y capacitación continua.

Entre los fines y objetivos de la Asociación que figuran en su Estatuto, pueden citarse:

- Procurar que la enseñanza de la Química sea cada vez más significativa y eficiente en todo el país y en los distintos niveles educativos.
- Promover el estudio y la investigación en la enseñanza de la Química en todos los niveles.
- Fomentar el intercambio y la comunicación entre personas y las instituciones dedicadas a la enseñanza de la Química.
- Contribuir al perfeccionamiento profesional de sus asociados mediante la divulgación de información científica, metodológica y de temas de interés común.
- Suscitar la inquietud de los docentes de Química por temas que contribuyan a ubicarlos frente a los problemas fundamentales de carácter científico y técnico que enfrenta el país.

#### **Comisión Directiva.**

Presidente: Luis Mario Costa

Vicepresidente: Celia E. Machado

Secretaria: Estela Zamudio

Prosecretaria: Myriam Klein

Tesorero: Dante Oscar Tegli

Protesorero: Raúl Enrique Fernández

1° Vocal titular: Andrés Raviolo

2° Vocal titular: Adriana Letícia Rocha

1° Vocal suplente: Violeta Torres

2° Vocal suplente: Gustavo Rodolfo Borro

Comisión revisora de cuentas

1° Titular: Karina Roxana Di Francisco

2° Titular: Luz Enriqueta Lastres Flores

3° Titular: Graciela Assenza Parisi

1° Suplente: Héctor Ricardo González

2° Suplente: Mónica Cristina Steinman

#### **Domicilio legal, sede de ADEQRA**

Instituto Superior de Formación Docente N° 24, B. Houssay. Pasaje Crámer (bis) 923 (1876) Bernal, Pcia de Buenos Aires, Argentina

## ***Para reflexionar***

### **DEFINICIONES BÁSICAS DE LA QUÍMICA: UNA DISCUSIÓN DIDÁCTICA II. ELEMENTO, SUSTANCIA ELEMENTAL Y COMPUESTO**

**Andrés Raviolo**

Universidad Nacional del Comahue. Bariloche.  
araviolo@bariloche.com.ar

**Resumen:**

Este trabajo realiza una revisión de las definiciones de algunos conceptos básicos de la química atendiendo a la lógica del discurso y a los aportes de la investigación en la didáctica de las ciencias. En esta oportunidad se analizan las definiciones macro y micro de: elemento, sustancia elemental y compuesto.

**Palabras clave:** definiciones, revisión didáctica, elemento, sustancia elemental, compuesto.

**Abstract:**

In this work, a revision is carried out about the definitions of basic chemical concepts focusing in the logic of discourse and in the results of the science teaching research. In this opportunity, the macro and micro definitions of the concepts: element, elemental substance and compound, are analyzed.

**Key words:** definitions, didactic revision, element, elemental substance, compound

Como se mencionó en la primera entrega de esta serie de artículos (Raviolo, 2008a), todos los que estamos relacionados con la enseñanza de la química percibimos que hay cuestiones que no cierran en las definiciones básicas de la química, ciertas incoherencias que muestran los textos y que refleja la lectura de nuestro libreto o discurso de aula. Por ello, es muy necesario plantear una discusión y revisión de estas definiciones que atienda no sólo a su rigurosidad científica e histórica, sino también a su coherencia dentro de una secuencia lógica del discurso y, fundamentalmente, a los aportes de la investigación educativa sobre la enseñanza de la química.

Una definición es una explicación del significado de un término con el fin de eliminar la vaguedad y la ambigüedad de las palabras. Para que una definición sea una caracterización teóricamente adecuada de un término científico, la primera información que tiene que aparecer en ella es la referida a la clase en que se incluye el término definido; por ejemplo, las clases “materia”, “sustancia” y “partícula” para definir respectivamente a sustancia, compuesto y átomo. Esta consideración no siempre se aprecia en las definiciones encontradas en los libros de texto de química. Hemos encontrado una inadecuada diversidad de clases en que se han incluido los conceptos químicos.

Un análisis de: (a) los textos disponibles para el nivel medio (e incluso de algunos textos universitarios), (b) las respuestas que dan los profesores y (c) las concepciones alternativas que sostienen los alumnos, muestra una situación caótica y preocupante, con respecto a la presentación lógica y didáctica de las definiciones de los conceptos básicos de la química. Por tratarse de conceptos básicos, sobre los cuales se enlazan los otros conceptos en el edificio teórico de la química, deberían definirse con una menor dispersión y mayor cuidado.

Este trabajo se propone analizar las definiciones de elemento químico, sustancia elemental y compuesto, éstas dos últimas en sus versiones macro y microscópico.

## ESTRUCTURA DE LA PRESENTACIÓN

En la primera entrega de esta serie de artículos se discutieron las definiciones de los conceptos: *química, sustancia, mezcla y reacción química*. En esta segunda entrega se analizan los conceptos de: *elemento, sustancia elemental y compuesto*; y finalmente, en la tercera se abordarán las definiciones de *átomo, molécula y ion*.

El análisis de las definiciones se presenta con el siguiente orden:

- primero la discusión a nivel macroscópico y luego a nivel microscópico, en los casos que resulta factible
- presentación de alguna definición de texto universitario y/o de la IUPAC
- discusión didáctica de las definiciones, atendiendo a las posibles contradicciones en la lógica del discurso y a las concepciones alternativas que podría fomentar. En este punto, cuando se hace referencia a definiciones de libros de texto de secundaria y a porcentajes, se está refiriendo a datos extraídos del análisis realizado por Raviolo (2008b), donde se analizaron los 20 textos más utilizados en Argentina.
- presentación de una definición sugerida que atiende a las cuestiones anteriores
- profundización de algunos aspectos que es necesario que el docente conozca, en algunos casos son cuestiones fundamentales, en otros casos mera información.

## ELEMENTO QUÍMICO, SUSTANCIA SIMPLE Y SUSTANCIA ELEMENTAL

La International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) admite dos definiciones para elemento químico (McNaught y Wilkinson, 1997): 1. “Una especie de átomo; átomos con el mismo número de protones en el núcleo atómico”. 2. “Una sustancia química pura compuesta de átomos con el mismo número de protones en el núcleo atómico. A veces este concepto es llamado sustancia elemental como una forma de diferenciarlo del elemento químico definido en 1, aunque mayoritariamente el término elemento químico se usa para ambos conceptos”. Por otra parte, el término sustancia simple no es utilizado actualmente ni por la IUPAC ni por los textos universitarios más difundidos.

Del párrafo precedente, se desprende que la IUPAC acepta que las dos acepciones del término elemento químico corresponden a dos conceptos diferentes y que puede utilizarse el término sustancia elemental para referirse a la sustancia. Es por ello, y atendiendo, además, a cuestiones didácticas y de coherencia del discurso escrito y oral, que en esta revisión se fundamenta a favor de definir a elemento químico sólo con la primera acepción, como un tipo o clase de átomo (que incluye a los respectivos iones mononucleares), es decir como un concepto micro o submicroscópico.

**Definición microscópica de elemento químico:** Como se mencionó en el párrafo anterior se adopta la definición 1 de elemento químico dada por IUPAC: “Una especie de átomo; átomos con el mismo número de protones en el núcleo atómico”.

**Discusión didáctica:** La decisión de no utilizar como sinónimos “elemento” y “sustancia elemental” se fundamenta en razones didácticas y lógicas de la coherencia del discurso, entre ellas:

1. En una reacción química se conservan los elementos, no las sustancias simples o elementales.

2. Las sustancias oxígeno y ozono son dos sustancias elementales diferentes pero no son dos “elementos” diferentes.
3. Un compuesto está formado por átomos de dos o más elementos, pero no por dos o más sustancias elementales.
4. La frase “número atómico del elemento tal”, no tendría sentido si se habla de una sustancia elemental.
5. La cantidad de significados diferentes con que se usa la palabra “elementos” y “elementales”, no sólo en la vida cotidiana sino, como se comprueba fácilmente, en los propios textos de química.

Curiosamente la definición 1 de IUPAC para elemento químico no se encontró en los textos universitarios de química general consultados (Pauling, 1980; McQuarrie y Rock, 1991; Chang, 1999; Umland y Bellama, 1999; Hill y Kolb, 1999; Burns, 2003; Brown y otros, 2004; Garritz y otros, 2005; Atkins y Jones, 2006, Chang, 2007). Estos textos presentan la definición de elemento como sustancia pero no como un tipo de átomo. Sí se halló en un 35% de los textos de nivel medio (Raviolo, 2008b). Aunque lo que más llama la atención es que ningún texto, ni de nivel medio ni universitario, aclare explícitamente que emplea al término “elemento” con dos significados: uno macroscópico (como sustancia elemental) y otro microscópico (como tipo de átomo). Ningún texto dedica un párrafo a este aspecto vital para la comprensión.

Por ejemplo, un texto universitario (Atkins y Jones, 2006) incluye en su glosario dos definiciones de elemento: “(1) sustancia que no puede ser separada en otras más simples por técnicas químicas, (2) sustancia compuesta por átomos del mismo número atómico. Ejemplos: hidrógeno, oro, uranio”. Donde notamos que la segunda definición en lugar de referirse a un tipo de átomos vuelve a incluirlo en la categoría de sustancia.

El uso como sinónimos de elemento y sustancia elemental se origina en la evolución histórica del concepto y, seguramente, esta tradición se ha mantenido en los libros de texto universitarios, la mayoría de origen anglosajón.

El 25% de los textos de secundaria analizados utiliza la definición asociada a Dalton: “Elemento: lo que tiene en común las sustancias simples, sus variedades alotrópicas y todas aquellas sustancias compuestas que, por descomposición, pueden originar dicha sustancia simple”. Otros lo definen como sustancia adoptando la concepción de Boyle: “Para Boyle, los elementos debían definirse como las sustancias básicas de las que estaba constituida toda la materia. Esto significaba que un elemento no podía descomponerse en sustancias más simples”.

La evolución histórica de estos conceptos estuvo impregnada de cierto rechazo o desconfianza a las ideas atomistas, como se trasluce en las siguientes expresiones de Lavoisier: “Me conformaré, por tanto, con decir si con el término *elementos* nos referimos a esos átomos simples e indivisibles de los que se compone la materia, parece sumamente probable que no sepamos nada de ellos; en cambio, si utilizamos el término *elementos*, o *principios de los cuerpos*, para expresar nuestra idea del último punto al que el análisis puede llegar, debemos admitir como elementos todas las sustancias a las que somos capaces de reducir, por cualquier método, los cuerpos durante la descomposición” (Lavoisier, 1790, citado por Brock, 1998). El mérito de Dalton radica en que “a la vista de la definición operativa de los elementos de Lavoisier, Dalton supuso que había tantos tipos diferentes de átomos como elementos... De este modo, Dalton asoció estrechamente el atomismo con la cuestión de cómo debían definirse los elementos” (Brock, 1998, pág. 129).

Bullejos y otros (1995) aconsejan presentar, en el nivel medio, a elemento químico sólo como un concepto del nivel microscópico, como a una clase de átomos que tienen igual número de protones, que se ubican en un casillero en la tabla periódica. Sugieren que al introducir este tema es importante contextualizar que en una reacción química de combinación no se reconocen en el compuesto las propiedades de las sustancias elementales que lo formaron, entonces ¿qué permite que se obtengan de nuevo esas sustancias elementales en la descomposición del compuesto? ¿qué es lo que permanece? Contestar estas preguntas fue un proceso laborioso en el desarrollo histórico y es un aspecto central en la enseñanza de la química, ¿cuál es la mejor forma de contestarlas en un contexto actual y de enseñanza con nuestros alumnos?

Para Llorens (1991) elemento es un concepto clave para diferenciar cambio físico de cambio químico. En el cambio físico (cambia por ejemplo la composición de una mezcla) se conservan las sustancias, en el cambio químico (cambian las sustancias) se conservan los elementos. Los elementos son lo invariable del cambio químico.

Otro problema para la comprensión es el uso de términos afines como la palabra “elementales” con distintos significados. Por ejemplo, de textos de nivel medio: “Mol es la cantidad de una sustancia que contiene tantas entidades *elementales* (átomos, moléculas, u otras partículas) como átomos hay...”, “En un cristal, sus partículas *elementales* (átomos, iones o moléculas) están ordenados de modo que adoptan formas geométricas definidas”, “Un elemento no puede descomponerse en *entes más elementales*”. “Un mol es la cantidad de una sustancia que contiene N *unidades elementales*”.

Los alumnos usan el término “elemento” en el contexto cotidiano, para referirse no sólo a un cuerpo u objeto, sino también como sinónimo de sustancia en general (elemental o compuesto). Por ello, dado que la palabra “elemento” tiene tantos significados cotidianos, se recomienda agregar “químico” y referirse siempre a “elemento químico”.

Otras afirmaciones como “Todos los átomos de un elemento tienen el mismo número de protones en el núcleo” se torna una definición circular si se considera a elemento como tipo de átomo, aunque parece una consecuencia inevitable.

**Definiciones sugeridas:** “*Un elemento químico es una clase de átomo, átomos con igual número atómico; es decir, átomos que tienen el mismo número de protones*”.

“*Un elemento químico es una clase de partículas con núcleos atómicos que poseen igual número de protones*”.

**Profundización:** La segunda definición de elemento químico, más general, tiene en cuenta también a las sustancias formadas por iones. Una sustancia iónica como el cloruro de sodio no está constituida por átomos, sino por los aniones cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) y cationes sodio ( $\text{Na}^+$ ), estos iones también son partículas incluidas en el elemento respectivo.

En comparación con los cambios físicos (se conservan las sustancias) y los cambios químicos (se conservan los elementos), en una transformación nuclear no se conservan los elementos químicos, cambian los núcleos atómicos.

**Definición macroscópica de sustancia elemental:** “*Sustancia elemental es una sustancia que no se puede separar en sustancias más simples por medios químicos*” (Chang, 1999); “*Es una sustancia que no se puede separar en otras más sencillas por medios químicos*” (Chang, 2007); “*Las sustancias elementales no pueden*

descomponerse en sustancias más simples” (Brown y otros, 2004); “Es una sustancia que no experimenta descomposición química, y no puede ser hecha de combinación química de otras sustancias” (Nelson, 2003) (en estas definiciones se ha reemplazado en la original “elemento” por “sustancia elemental”).

**Discusión didáctica:** Las definiciones anteriores hacen depender el término sustancia elemental de otros conceptos: “sustancias más simples”, “medios químicos” y “descomposición”, que deberían conocerse con anterioridad. La idea de sustancia más simple o más sencilla arrastra también inconsistencias: la sustancia oxígeno ( $O_2$ ) es “más simple” que la sustancia ozono ( $O_3$ ) y puede obtenerse a partir de ella, o el diamante  $C(s)$  es “más simple” que el fullereno ( $C_{60}$ )... Ateniéndose a las definiciones anteriores, estas formulaciones darían a entender que ni ozono ni fullereno serían sustancias elementales.

Este tipo de inconsistencias abundan en los textos: “En la actualidad se conocen 114 elementos” (Brown y otros, 2004) un párrafo anterior definió elemento como una sustancia que no puede descomponerse, de lo que se desprende que sólo hay 114 sustancias elementales, lo cual no es real si se consideran las variedades alotrópicas. Seguramente los autores están pensando en elemento como tipo de átomos, pero a la altura inicial de los textos esta definición no se ha presentado.

Una concepción alternativa frecuente es concebir a los compuestos como una mezcla de sustancias elementales, por ejemplo la idea de que en el agua están presentes las sustancias oxígeno e hidrógeno. La definición de elemento como sustancia puede contribuir a esta confusión. La utilización del adjetivo “pura” en sustancia pura refuerza en los estudiantes la idea de que una sustancia elemental es una sustancia pura y un compuesto no lo es (Johnson, 1996). La definición “Los elementos son las sustancias fundamentales a partir de las cuales se construyen todas las cosas materiales” también favorece la confusión mezcla - compuesto.

Además, utilizar como sinónimos a los conceptos sustancia elemental y elemento trae aparejado otros inconvenientes, como por ejemplo cuando se introducen los alotropos. Las definiciones “alótropo es una de dos o más formas diferentes de un elemento” (Chang, 1999) y “diferentes formas en que puede encontrarse la misma sustancia simple son sus variedades alotrópicas” (texto de nivel medio), se prestan a confusión si elemento es igual a sustancia elemental, ¿existe la sustancia elemental carbono o existen las sustancias elementales grafito, diamante, fullereno? En el caso del oxígeno, sí existe la sustancia simple oxígeno ( $O_2(g)$ ), ahora el ozono no es una forma en la que puede encontrarse esa sustancia elemental oxígeno, es una sustancia diferente.

Otra definición “La alotropía es la capacidad que tienen ciertas sustancias simples, de existir en varias formas de distintas propiedades” además del uso, casi animista, de la palabra capacidad, fomenta la idea errónea de interpretar al cambio químico como una modificación de la sustancia (mantiene su identidad pero cambia sus propiedades).

En la definición: “Una sustancia simple es una sustancia que no se puede separar en sustancias más simples por medios químicos”, la palabra “separar” podría dar lugar a interpretaciones que lo asocien con un cambio físico, con una separación de las sustancias de una mezcla.

**Definición sugerida:** “Una sustancia elemental es una sustancia a partir de la cual no puede obtenerse sustancias más simples por medios químicos”.

**Profundización:** En la definición anterior y, por lo dicho anteriormente, será necesario discutir qué se entiende por sustancias más simples y aclarar lo mencionado sobre los alótropos. También qué se entiende por medios químicos.

Se recomiendan actividades de tipo conceptual como la que sigue (Holding, 1985).

Actividad: Un alumno está estudiando las propiedades de una sustancia “X”. Estos son los resultados que obtiene en sus experimentos:

- . A temperatura ambiente X es un sólido blanco
- . Funde a los 200 °C
- . Por electrólisis, de la sustancia fundida, aparece más de un producto
- . Cuando se calienta en presencia de aire, forma un óxido blanco.

Como resultado de estas pruebas, el alumno concluye que X no es una sustancia elemental. ¿Apoyan esta conclusión? ¿Por qué?

**Definición microscópica de sustancia elemental:** “*Sustancias elementales* son sustancias puras compuestas por un único tipo de átomos”. (ACS, 2004, donde se reemplazó la palabra “elementos” por “sustancias elementales”); “Material compuesto de un solo tipo de átomos” (Burns, 2003).

**Discusión didáctica:** En la primera definición y, como ya se mencionó, el uso de las palabras “puras” y “compuestas” confunden. Un único tipo de átomos puede formar más de una sustancia y, además, ese único tipo de átomos pueden estar constituyendo moléculas (O<sub>2</sub>, P<sub>4</sub>, S<sub>8</sub>). En la segunda definición incomoda el uso de las palabras “material” y “compuesto”. En la clasificación lógica de la materia se clasifican a los materiales como sustancias o mezclas de sustancias, y a las sustancias en sustancias elementales y compuestos, con lo cual, en la definición de sustancia elemental sería más adecuado referirse al término superordinario inmediato: sustancia.

En varios textos de nivel medio se define a las sustancias elementales considerando a las sustancias sólo como moleculares: “Son aquellas cuyas moléculas están constituidas por átomos de la misma especie”, “Sus moléculas están formadas por átomos idénticos”. Además, en la primera afirmación el uso de la palabra “especie” es muy difuso dado que se utiliza “especies” para referirse a sustancias, pero también a partículas como moléculas o átomos; en la segunda, la frase “átomos idénticos”, podría cuestionarse si tenemos en cuenta los isótopos.

**Definición sugerida:** *Las sustancias elementales son sustancias formadas por un único tipo de átomo.*

*Los alótropos son sustancias elementales formadas por el mismo tipo de átomo o elemento.*

**Profundización:** Las proposiciones: “Una sustancia simple es *materia* formada por un solo tipo de átomos”, “*Material* compuesto de un solo tipo de átomos” no son adecuadas porque una mezcla de dos variedades alotrópicas también lo es, por ejemplo una mezcla de los gases oxígeno y ozono (O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>). El problema de esta definición es que ha sido mal elegida la clase en la que se incluye el término, que debería ser “sustancia”, en lugar de “materia” o “material”.

Algunas sustancias pueden existir en más que una forma cristalina (polimorfismo), otras en más de una forma líquida (anisotrópicas) como los cristales líquidos (Nelson, 2003).



## COMPUESTO

**Definición macro de compuesto:** “Compuestos son sustancias formadas por dos o más elementos. Un compuesto siempre contiene el mismo porcentaje en peso de cada elemento” (Umland y Bellama, 1999); “Compuesto es una sustancia que puede ser hecha o descompuesta en elementos” (Nelson, 2003); “Es una sustancia constituida por dos o más elementos químicos” (Garritz y otros, 2005).

**Discusión didáctica:** la mayoría de los textos universitarios, al considerar como sinónimos elemento y sustancia elemental, conducen a varias incoherencias además de la ya mencionada sobre la conservación de los elementos en una reacción química. Si un elemento es una sustancia y un compuesto una sustancia formada por dos o más elementos, se deriva lógicamente que: “un compuesto esta formado por dos o más sustancias”, esta idea errónea promueve la concepción alternativa muy difundida entre los estudiantes de que un compuesto es una mezcla de sustancias elementales. Este hecho, asociado a lo sensorial (entre un compuesto y mezcla homogénea puede no haber diferencias perceptivas), explica porque los estudiantes no diferencian conceptualmente mezcla y compuesto (Llorens, 1991).

Otra frase: “Los compuestos químicos resultan de la combinación de dos o más sustancias simples” (texto de nivel medio), y dado que la palabra combinar se usa también como mezclar, induce también a la confusión anterior. Lo mismo ocurre con la proposición: “Un compuesto químico es una sustancia que se puede separar en sustancias simples por medios químicos”, que utiliza la palabra “separar” que puede reforzar la confusión.

Muchas afirmaciones hacen depender el concepto compuesto del conocimiento que se tenga del término descomponer (descomposición): “Un compuesto químico es una sustancia que puede ser descompuesta en sustancias simples”.

Como ya se mencionó para sustancia elemental, el término “sustancia pura” se asocia con la idea de sustancia elemental y refuerza la idea de que las sustancias puras forman parte de un compuesto (las impuras una mezcla) (Furió y Furió, 2000).

La definición: “En las sustancias compuestas desaparecen las propiedades de las sustancias que le dan origen”, refuerza indirectamente la concepción de cambio químico como modificación de propiedades manteniendo la identidad de la sustancias.

Otro aspecto del concepto compuesto es que “tiene una composición elemental fija”, “siempre contiene el mismo porcentaje en peso de cada elemento”, comprender esta afirmación requiere conocer el concepto elemento.

**Definición sugerida:** “*Un compuesto químico es una sustancia a partir de la cual pueden obtenerse sustancias elementales por medios químicos*”.

**Profundización:** Una descomposición puede ser incompleta, es decir, puede dar lugar a otros compuestos (ej. descomposición térmica del clorato de potasio). Por ello, es necesario aclarar que un compuesto puede descomponerse en sustancias elementales en una o en varias etapas. Un compuesto puede ser hecho por combinación de otras sustancias, una sustancia elemental no (considerando a la sustancia elemental como único producto). Donde descomposición y combinación se interpretan como procesos químicos opuestos.

Existen casos en los que es complejo clasificar un material en mezcla o en compuesto. Esto demandó un gran esfuerzo en la evolución histórica, como la conocida

controversia histórica entre Proust (ley de proporciones constantes) y Berthollet (ley de proporciones variables). Berthollet brindó ejemplos que hoy son clasificados como disoluciones y aleaciones (Brock, 1992). Por ejemplo, una aleación (disolución sólida) es una mezcla a nivel atómico (unión metálica), es una mezcla formada por átomos de dos o más elementos.

También recordar lo mencionado en el artículo anterior sobre existencia de compuestos no estequiométricos o berthólidos.

**Definición micro de compuesto:** “Compuesto es una sustancia formada por átomos de dos o más elementos unidos químicamente en proporciones definidas” (Chang, 1999); “Sustancia formada por dos o más elementos unidos químicamente en proporciones definidas” (Brown y otros, 2004); “Es una combinación química formada por átomos diferentes en una proporción invariable” (Real Academia, 1990).

**Discusión didáctica:** Los autores de las dos primeras afirmaciones previamente definieron elemento únicamente como una sustancia que no puede separarse en sustancias más simples por medios químicos, contribuyendo a la confusión mezcla-sustancia. La última definición, además de que podría ser la definición de molécula, hace depender la definición de compuesto del concepto de “combinación química”; al igual que la siguiente afirmación de texto de secundaria: “A partir de los compuestos que resultan de la combinación de átomos diferentes, es posible obtener los elementos puros mediante procesos químicos”. Además promueven la confusión entre una entidad material y un proceso.

El 75% de los textos de nivel medio analizados incluye una definición micro de compuesto, aunque el 40% considera a todas los compuestos como moleculares sin tener en cuenta a los compuestos iónicos: “Si la molécula está formada por átomos diferentes, la sustancia es compuesta”, “Un compuesto químico es una sustancia pura cuyas moléculas están formadas por dos o más tipos de átomos”, “Compuesto es una sustancia que tiene todas sus moléculas iguales; todas tienen la misma fórmula molecular. La composición de un compuesto es siempre la misma, sin importar de dónde proviene, dado que todas sus moléculas tienen el mismo número de átomos de cada elemento” (ACS, 2004).

La afirmación “las sustancias compuestas son aquellas cuyas moléculas están formadas por átomos de diferente naturaleza” (texto de nivel medio), además de considerar a todas las sustancias como moleculares, introduce otro término difuso como “naturaleza de los átomos”.

**Definición sugerida:** “*Un compuesto es una sustancia formada por dos o más tipos de átomos (elementos), esos átomos están unidos químicamente en proporciones definidas*”.

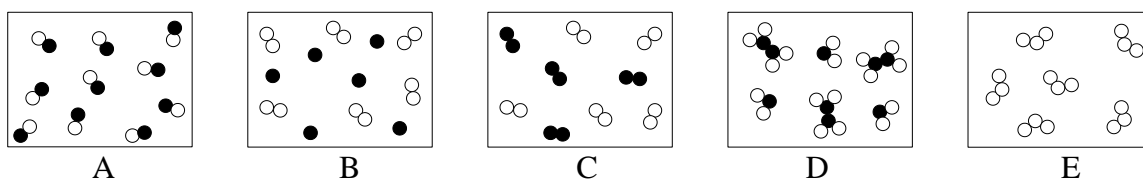
**Profundización:** En la definición sugerida podría aclararse que los compuestos iónicos, como el NaCl(s), no están formados por átomos diferentes, sino por iones que podrían considerarse como provenientes de estos.

Con respecto a sólidos iónicos, metálicos y covalentes, en un texto se menciona: “En estos sólidos solamente hablamos de moléculas en el estado de vapor”, dando lugar a la pregunta: ¿qué sólidos no moleculares dan origen a moléculas en su estado de vapor? En los metales y sólidos covalentes estas partículas son átomos, y en los iónicos

son iones. Esto último se desprende de, por ejemplo, la frase: “la energía reticular es la energía empleada para separar un mol de un compuesto sólido iónico en sus iones en estado gaseoso” (Chang, 1999). Es común, y como se aprecia en esta última afirmación, la transferencia de una propiedad macro como el estado de agregación a las partículas (Malaver y otros, 2007).

Resultan adecuadas para la enseñanza actividades conceptuales con partículas, por ejemplo la siguiente.

Actividad: En los siguientes dibujos se representan recipientes conteniendo gases. Cada bolita representa un átomo y las del mismo color representan átomos iguales. Clasifica a los recipientes de acuerdo a que contengan: una sustancia elemental, compuesto o una mezcla.



En la investigación de Stains y Talanquer (2007), muchos estudiantes universitarios clasificaron representaciones de partículas como sustancia elemental, compuesto y mezcla guiados por características estructurales (como el enlace, la distribución en el espacio de los átomos, la presencia de átomos comunes entre las diferentes especies) más que por la composición química.

Para la actividad anterior, los resultados obtenidos por estos autores, en porcentajes de alumnos que clasificaron como compuesto (y no como mezcla) al contenido de los recipientes, fueron: B 3,1%, C 15,6% y D 56,2%. Al parecer los estudiantes eran más proclives a clasificar como compuestos cuando había una similitud entre las sustancias, en particular cuando una partícula parecía una parte de otra partícula como el caso D (por ejemplo  $\text{NO}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}_4$ ); donde interpretaban al sistema como una reacción química incompleta que tiene el “potencial” de combinarse para formar un compuesto solo.

## CONCLUSIONES

La necesidad de realizar este tipo de discusiones radica, en parte, en que los libros de texto de nivel medio: (a) no definen algunos conceptos básicos que abordan en sus páginas, (b) muestran una alarmante diversidad de afirmaciones, (c) presentan proposiciones erróneas o generalizaciones imprecisas y (d) no tienen en cuenta las concepciones alternativas que pueden fomentar directa o indirectamente. Estos libros, considerados en su conjunto, presentan un cuerpo, lógica y semánticamente, incoherente de conocimientos, porque dan la impresión de que para entender el significado correcto de muchas expresiones hay que saber química previamente; por ejemplo, para poder superar: (1) el uso del mismo término con distinto significado (ej.: elemento, combinación), (2) el empleo de palabras que tienen otras connotaciones en la vida cotidiana, y (3) las contradicciones en la lógica del discurso (Raviolo, 2008b).

En este artículo se ha fundamentado a favor de definir a elemento químico sólo con la primera acepción sugerida por la IUPAC, como un tipo o clase de átomo, es decir como un concepto del nivel submicroscópico, y utilizar el término sustancia elemental

para referirse a la segunda acepción, de elemento como sustancia. La presencia en muchos de los libros de texto de los términos “sustancia simple” y “sustancia compuesta”, a pesar de que ya no son empleados por la IUPAC, reflejaría cierto grado de obsolescencia en estos libros. Aunque en español el término “sustancia compuesta” no deja dudas de que se trata del sustantivo, no del adjetivo o participio (“compuesto”).

Llama mucho la atención que los libros de texto universitarios consultados no incluyan entre sus definiciones destacadas a elemento químico como un tipo de átomo. Y resulta más preocupante que los libros de texto en general no aclaren, no adviertan al lector, el hecho de que se usa el término elemento químico con dos significados diferentes.

Se han mostrado muchos casos de definiciones donde la clase en la que incluyen el término está mal elegida. Por ejemplo, “materia”, “material” o “combinación” para referirse a compuesto, “sustancia fundamental” para elemento, “sustancia pura” para compuesto o elemento, “material” para elemento.

Se aprecia que las definiciones macro de sustancia elemental y compuesto son *definiciones operacionales* (Hempel, 1973); es decir, se define el término mediante operaciones prácticas o mediciones. Por ejemplo, la definición de densidad como el cociente entre la masa y el volumen de una muestra. Estas definiciones operacionales tienen una base empírica; en cambio, las *definiciones teóricas* son de corte abstracto y provienen de un marco teórico determinado. Por ejemplo, las definiciones micro de elemento químico, sustancia elemental y compuesto, provienen del marco de referencia de la teoría atómica. Una propuesta didáctica adecuada a estudiantes de nivel medio debería brindar suficiente tiempo para desarrollar las definiciones operacionales a través de la experimentación, antes de describir, explicar y predecir desde el nivel submicroscópico.

Otra implicación importante de este trabajo es la necesidad de volver a reflexionar sobre las definiciones de los conceptos básicos de la química en distintos momentos del desarrollo del currículo, incluso en la universidad. Es un error creer que un concepto abstracto se aprende en un momento del programa en forma acabada y definitiva.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Chemical Society.** 2005. *Química un proyecto de la ACS*. Ed. Reverté.
- Atkins, P. y Jones, L.** 2006. *Principios de química*. 3º edición. Ed. Médica Panamericana.
- Brock, W. H.** 1998. *Historia de la química*. Madrid: Alianza. (The fontana history of chemistry, 1992. Fontana Press.)
- Brown, T., LeMay, H. y Bursten, B.** 2004. *Química*. (9º edición). México: Pearson.
- Bullejos, J., De Manuel, E. y Furió, C.** 1995. ¿Sustancias simples y/o elementos? Usos del término elemento químico en los libros de texto. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 9, 27-42.
- Burns, R.** 2003. *Fundamentos de química*. (3º edición). México: Pearson.
- Chang, R.** 1999. *Química*. Sexta edición. México: Mc Graw Hill.
- Furió, C. y Furió, C.** 2000. Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación Química*, 11(3), 300-308.
- Garritz, A, Gasque, L. y Martínez, A.** 2005. *Química universitaria*. México: Pearson.
- Hempel, C.** 1973. *Filosofía de la ciencia natural*. Madrid: Alianza.
- Holding, B.** 1985. *Aspects of secondary students` understanding of elementary ideas in chemistry*. CLIS Project. U.K.: University of Leeds.
- Johnson, P.** 1996. What is a substance. *Education in Chemistry*, 33(2), 41-45.

- Llorens, J.** 1991. *Comenzando a aprender química*. Madrid: Visor.
- Malaver, M., Pujol, R. y D'Alessandro, A.** 2007. La calidad científica del contenido sobre el tema estructura de la materia en textos universitarios de química general. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(2), 229-240.
- McNaught, A. D. y Wilkinson, A.,** 1997. *IUPAC Compendium of Chemical Terminology, (The gold book)*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, publicada en forma impresa por Blackwell Science, 2<sup>nd</sup> edition. Puede consultarse su versión en línea en la URL <http://www.iupac.org/publications/compendium/index.html>
- Nelson, P.** 2003. Basic chemical concepts. *Chemistry Education: Research and Practice*, 4(1), 19-24.
- Raviolo, A.** 2008a. Definiciones básicas de la química: una discusión didáctica I. Química, sustancia, mezcla y reacción química. *Educación en la Química*, 14(1), 3-16.
- Raviolo, A.** 2008b. Las definiciones de conceptos químicos básicos en textos de secundaria. *Educación Química*, 19(4), 2-10.
- Stains, M. y Talanquer, V.,** 2007. Classification of chemical substances using particulate representations of matter: an analysis of student thinking. *International Journal of Science Education*, 29(5), 643-661.
- Umland, J. y Bellama, J.** 2000. *Química General*. 3<sup>o</sup> edición. México: Thomson.

## ***Para reflexionar***

### **INTERPRETACIÓN DE LAS REPRESENTACIONES SOBRE REACCIONES QUÍMICAS EN ALUMNOS DEL PRIMER AÑO DE LA UNIVERSIDAD**

**P. Viviana Roldán, Mónica L Luna**

UNL. Facultad de Ciencias Veterinarias, Departamento Ciencias Básicas, Cátedra de Química. Esperanza-Santa Fe, Argentina  
vproldan@yahoo.com.ar

#### **RESUMEN**

Es necesario adecuar los contenidos a los alumnos, quienes construyen el conocimiento científico a partir de sus ideas previas. En Química aparecen dificultades didácticas relacionadas con la comprensión de la Naturaleza de la materia y la Conservación de sus propiedades no observables, conceptos necesarios para comprender las transformaciones. Esta investigación tiene como principal objetivo detectar concepciones sobre las reacciones químicas en representaciones gráficas obtenidas a partir de una consigna de respuesta libre y proponer niveles de formulación que caracterizan dichas concepciones. La investigación es descriptiva y el análisis de la información se realizó con integración de técnicas cuali-cuantitativas. Se observa en los alumnos dificultad para representar espontáneamente la realidad de un fenómeno químico a través de un dibujo. Se han identificado cuatro Niveles en la evolución de la comprensión de las reacciones químicas.

**Palabras claves:** ideas previas, transformaciones, representaciones.

#### **SUMMARY**

It's necessary to adapt contents to students who build scientific knowledge from their previous ideas. In Chemistry, when trying to understand transformations, didactic difficulties related to the understanding of matter nature and non observables properties'conservation appear. The main objective of this investigation is to detect chemical reactions' conceptions in graphic representations obtained from students and to propose formulation levels that characterize this conceptions. The investigation is descriptive and the analysis of the information was carried out with the integration of cuali-quantitative techniques. Students have difficulty to represent spontaneously, through a drawing, the reality of a chemical phenomenon. Four levels in the evolution of the understanding of the chemical reactions have been identified.

**Key words:** previous ideas, transformations, representations

#### **INTRODUCCIÓN**

Los alumnos construyen el conocimiento científico a partir de sus ideas y representaciones previas sobre la realidad. Estas ideas previas son relativamente coherentes y sistemáticas, comunes a estudiantes de diferentes medios, edades, géneros y culturas, como así también, muy resistentes al cambio; por ello, se hace necesario adecuar los contenidos a los alumnos cuando se estima una propuesta curricular.

Las ideas previas no siempre son un obstáculo, ya que le indican al formador el camino que queda por recorrer así como las dificultades que los alumnos pueden encontrar.

En Química, aparecen serias dificultades didácticas relacionadas con la comprensión científica de la naturaleza de la materia pues la misma supone un nivel de abstracción muy elevado. Se nota una tendencia marcada en interpretar el mundo microscópico en forma macroscópica y esto lleva a los alumnos, por ejemplo, a rechazar la idea del

vacío entre partículas (Pozo y col, 1991 ; Osborne y Freyberg, 1991 ; Llórens Molina, 1991).

Muchos alumnos son reacios a aceptar la naturaleza discontinua de la materia; aún a aquellos que la hayan entendido les cuesta hacer referencia espontáneamente a las partículas para explicar fenómenos químicos como las disoluciones.

Se presentan también dificultades en la comprensión de la conservación de propiedades no observables de la materia, necesarias para comprender las transformaciones de la materia es decir los cambios físicos (cambios de estado y disoluciones) y químicos (reacciones).

Es importante destacar que el problema de comprender la conservación aparece porque nuestro pensamiento tiende a centrarse más en lo que cambia que en lo que permanece (Gómez Crespo y col, 1992).

Otra dificultad que presenta la Química es que tiene un lenguaje propio que utiliza un sistema de símbolos, fórmulas y nombres que representan la composición de la materia, su estado físico y sus transformaciones.

Las representaciones son el medio o herramienta que pone en evidencia las ideas que, sobre un determinado tema, tienen los alumnos.

Los niveles de comprensión constituyen una forma de categorizar las ideas de los alumnos en función de un incremento de complejidad respecto al nivel precedente.

El concepto de niveles de comprensión se basa en que los alumnos construyen los contenidos educativos partiendo de sus representaciones iniciales mediante un proceso de aproximación sucesiva (Giordan y De Vecchi, 1995). El paso de un nivel a otro conlleva la superación de determinados obstáculos epistemológicos que dificultan una comprensión progresivamente más compleja del mundo. Los niveles de formulación ó niveles de comprensión pueden servir como punto de referencia para la elaboración de itinerarios didácticos y secuencias de actividades y como instrumento para el seguimiento de la evolución de las concepciones de los alumnos.

Nuestra investigación tiene como objetivo principal detectar concepciones sobre las reacciones químicas en representaciones gráficas, obtenidas a partir de una consigna de respuesta libre. Además, para caracterizar las concepciones alternativas de los alumnos a partir de las representaciones se proponen niveles en la evolución de la comprensión de las reacciones químicas, desde el nivel macroscópico al microscópico.

## **METODOLOGÍA**

El tipo de investigación es descriptiva y el análisis de la información obtenida se realizó con la integración de técnicas cuali-cuantitativas.

La población bajo estudio estuvo integrada por 83 alumnos ingresantes a la Facultad de Ciencias Veterinarias- UNL, Esperanza-Santa Fe, durante el primer cuatrimestre, en la asignatura Química. La recolección de la información se efectuó antes de recibir la instrucción sobre el tema, mediante la aplicación de un cuestionario que contenía la propuesta siguiente: “Representa con un dibujo lo que te sugiere una reacción química”. Según las respuestas obtenidas podemos diferenciar aquellas representaciones que expresan un cambio físico o un cambio químico. En el análisis de los dibujos que representaban una reacción química se evaluó si:

a- Representaban en forma gráfica un cambio físico.

b- Representaban reacciones químicas recurriendo a un lenguaje simbólico de dos formas diferentes:

b-1- Representación General: Los reactivos y los productos se representaban a través de ecuaciones literales (letras elegidas del alfabeto que no se corresponden con los símbolos de los elementos que constituyen las sustancias reactivas y los productos).

b-2 Fórmulas químicas: incluye los símbolos de los elementos que constituyen los reactivos y los productos

c- Representaban gráficamente las reacciones químicas de dos formas diferentes:

c-1 Recurrían a reacciones químicas donde los reactivos y los productos presentaban variadas formas geométricas.

c-2 Representaban a través de un dibujo.

Los niveles de comprensión ó hipótesis de progresión se obtuvieron a partir del análisis de los siguientes contenidos:

naturaleza de la materia (continua ó discontinua)

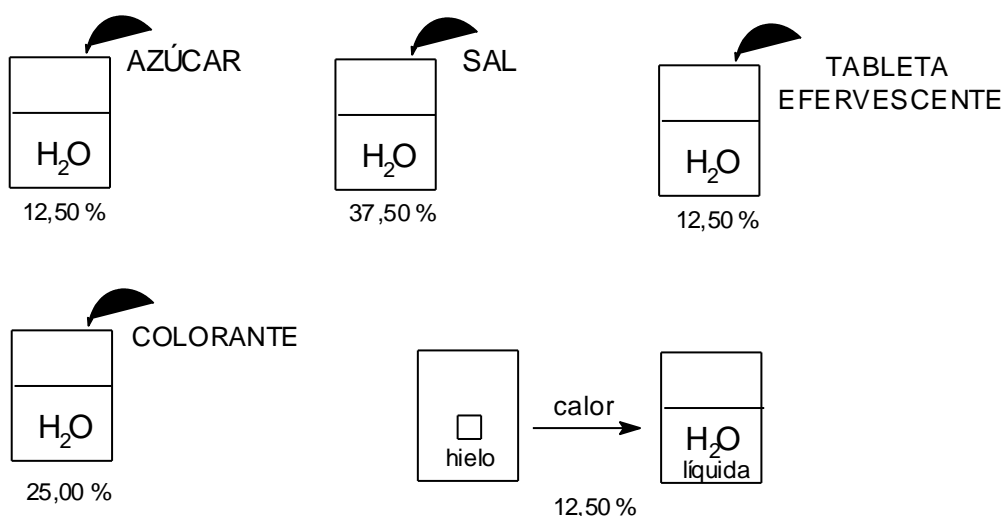
conservación de las propiedades de la materia

explicación del fenómeno a nivel corpuscular

## RESULTADOS

Se encontró que un 89% de los alumnos, contestaron la pregunta. A continuación presentamos la representación gráfica de una reacción química como:

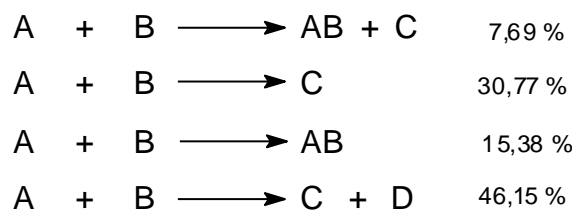
a- Un cambio físico (N= 7)



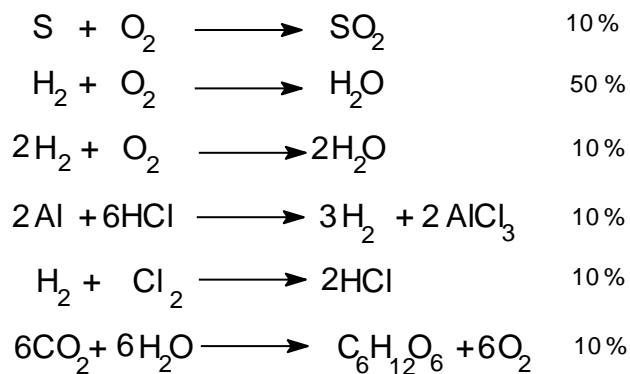
b- Los alumnos que representaban reacciones químicas recurriendo a un lenguaje simbólico de dos formas diferentes fueron un total de 23, es decir 31,07%.

b-1- Representación General: Los reactivos y los productos se representaban a través de letras y los diferentes ejemplos se presentan a continuación (Nº de alumnos dentro de esta categoría=13):





b-2 Fórmulas químicas, (Nº de alumnos = 10)



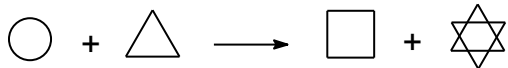
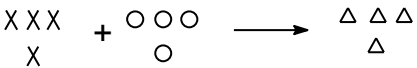
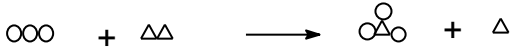

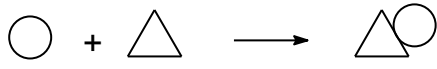
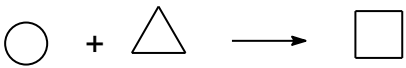
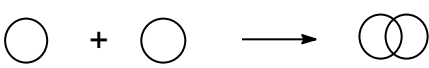
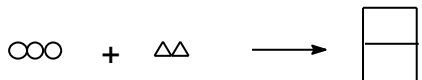

En la Tabla 1 se presenta la distribución porcentual según el Grado de generalidad empleado por el alumno al representar una reacción química a través de lenguaje simbólico.

Grado de generalidad	% obtenido
Representación General	56,52
Fórmulas químicas	43,48

**Tabla 1: Distribución porcentual según el Grado de Generalidad.**

c- Representaban gráficamente las reacciones químicas de dos formas diferentes:  
( N=43)

c-1 Recurrían a reacciones químicas donde los reactivos y los productos presentan variadas formas geométricas. ( N=31)

	6,45 %
	9,68 %
	22,58%
	12,90 %
	9,68 %
	19,35 %
	6,45 %
	9,68 %
	3,23 %

c-2 Representación a través de un dibujo: ( N=11)

una fogata (50%)

unión de dos conjuntos (33,34%)

preparación de un huevo frito (8,33%)

llenar un vaso con líquido (8,33%)

La Tabla 2 incluye la distribución porcentual correspondiente a las distintas categorías de dibujos que se obtuvieron como respuesta a la consigna: "Representa con un dibujo lo que te sugiere una reacción química"

Tipo de representación	porcentaje
Cambio físico	10,82
Ecuaciones literales (letras)	17,56
Ecuaciones Químicas (fórmulas )	13,51
Los reactivos y productos son representados a través de formas geométricas ó símbolos matemáticos	41,90
Dibujo	16,21

**Tabla 2**

A partir de la Tabla 2 se definieron cuatro niveles de comprensión, que van desde la no identificación del tipo de transformación de la materia hasta la naturaleza corpuscular de la misma y visión cotidiana de la reacción química.

Primer Nivel: incluye la representación de un cambio físico; el Segundo Nivel: la representación a través de reacciones químicas, en las que los reactivos y productos son letras; el Tercer Nivel: representación a través de reacciones químicas, en las cuales los reactivos y productos son fórmulas químicas, y un Cuarto Nivel que incluye representaciones de reactivos y productos a través de distintas formas geométricas.

## DISCUSIÓN

La representación por parte de los alumnos de un cambio físico (disoluciones ó cambio de estado) en lugar de un cambio químico es debido a que existe una marcada tendencia a interpretar el mundo microscópico en términos macroscópicos (ejemplo: asimilan la disolución del azúcar en el agua como la formación de una nueva sustancia). Como ninguna otra disciplina científica, para comprender las propiedades macroscópicas de los sistemas materiales y sus cambios, en la Química, se requiere de un nivel elevado de abstracción.

No existe una marcada diferencia entre alumnos que recurren a representar una reacción química a través de ecuaciones químicas donde se emplean letras del alfabeto (Representación General) ó fórmulas químicas.

La representación de las reacciones químicas, muestra un predominio de figuras geométricas sobre los dibujos (ejemplos: fogata, cocción de un huevo). Esto, en nuestra opinión, significa que el alumno tiene dificultad para representar espontáneamente la realidad de un fenómeno químico a través de un dibujo.

Analizando las distintas representaciones gráficas, se concluye que es posible identificar cuatro Niveles en la evolución de la comprensión de las reacciones químicas.

El orden creciente de niveles propuesto, es el siguiente:

Primer Nivel: representación de un cambio físico; es decir el alumno presenta dificultades en la comprensión de la conservación de la materia.

Segundo Nivel: representación a través de reacciones químicas, en las cuales los reactivos y productos son letras; el alumno no recurre a la simbología química.

Tercer Nivel: representación a través de reacciones químicas, en las cuales los reactivos y productos son fórmulas químicas.

Cuarto Nivel: Dibujos donde los reactivos y productos se representan a través de distintas formas geométricas. El Cuarto Nivel incluye las representaciones geométricas que más se aproximan a un empleo del nivel microscópico.

En ningún caso se observó la representación a nivel microscópico de una reacción química.

Sólo cinco alumnos dibujaron una fogata como una forma de representar una reacción química de combustión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Giordan, A ; de Vecchi, G.** (1995) *“Los orígenes del saber”*. Sevilla : Díada.

**Llórens Molina, J.A.** (1988) *“La concepción corpuscular de la materia”*. Investigación en la Escuela, N° 4; p 33-48

**Novick, A ; Nussbaum, J .** (1978) *“Junior high school pupils understanding of the particulate nature of matter : an interview study”*. Science education. N° 63. p 273-282

**Pozo, J.I ;Gómez Crespo, M.A. ;Limón, M y Sanz Serrano, A.** (1991) *“Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia : Las ideas de los adolescentes sobre la química”*. Madrid : Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia; p 117-217.

## BILIOGRAFIA CONSULTADA

- Caamaño, A** (1996). *“Las ideas del alumnado en ciencias”*. Barcelona : Alambique-Didáctica de las ciencias experimentales N° 7. p (5 y 6).
- Caamaño, A** (1997). *“Concepciones de los estudiantes sobre la estructura de la materia y los cambios estructurales en una reacción química”*. Enseñanza de las ciencias. Número extra. 5<sup>to</sup> Congreso p (175-177).
- Del Carmen, L** (coord)(1997) *“La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria”* Barcelona : Ice/Horsori.
- Driver, R ; Erikson,G**; (1983). *“Theories into action : some theoretical and empirical issues in the study of students’ conceptual frameworks in science”*. Studies in Science Education, Vol.10. p (37-70)
- Driver, R** (1985). *“ Beyond appearances : the conservation of matter under physical and chemical transformations”*. En : DRIVER, R ; E. GUESNE ; A. TIBERGHIEEN (Eds.) *Children’s ideas in science*. Milton Keynes : Open University Press. Trad. Cast. P. Manzano. Las ideas científicas en la infancia y la adolescencia. Madrid : Morata
- Festinger,L ; Katz,D**; (1993). *“ Los métodos de investigación en las ciencias sociales”*. Paidós estudio básica.
- Furió Mas, C** (1996). *“Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias dos décadas de investigación. Resultados y tendencias”*. Barcelona : Alambique- Didáctica de las ciencias experimentales N° 17. p (7-17).
- Galagovsky,L**; (2005), *“La Enseñanza de la Química preuniversitaria: ¿Qué enseñar, cómo, cuánto, para quiénes?, Revista Química Viva. N° 1, año 4.*
- Gómez Crespo M.A ; Pozo J.I. ; Limón M. ; Sanz Serrano A.** (1992): *“La estructura de los conocimientos previos en Química : una propuesta de núcleos conceptuales”*. Investigación en la escuela N° 18. P (23-39).
- Gómez Crespo, M.A** (1996). *“Ideas y dificultades en el aprendizaje de la química”*. Las ideas del alumnado en ciencias. Alambique. p (37 - 44).
- Johnstone,A.H** (1991), *Why is Science Difficult to Learn?”*, J. Computer Assisted Learning 7,pp75-83
- Lemke,J.L**(1997) .*“ Aprender a hablar ciencia”*. Barcelona :Paidós.
- Llorens Molina, J.A.** (1991). *“Comenzando a aprender química. Ideas para el diseño curricular”*. Madrid :Visor.
- Mercer, N** (1997). *“La construcción guiada del conocimiento. El habla de profesores y alumnos”*. Barcelona : Paidós.
- Osborne, R ; P. Freyber** (1991) *“El aprendizaje de las ciencias. Implicaciones de la ciencia de los alumnos”*. Madrid :Narcea.
- Posada, J.M.**(1997). *“Las concepciones alternativas sobre química de los estudiantes y su tratamiento en la sala de clase”*. Federación Latinoamericana de Asociaciones de Químicas. Vol 10, N° 2. p(2-6).

## ***Para reflexionar***

### **DIFICULTADES Y OBSTÁCULOS PARA LA UTILIZACIÓN DEL MODELO CORPUSCULAR EN EL CASO DE UNA SOLUCIÓN, EN ALUMNOS INGRESANTES A LA FACULTAD DE BIOQUÍMICA Y CIENCIAS BIOLÓGICAS (UNL)**

**Martha A. Perren, Héctor S. Odetti, Andrea Pacífico\***

Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, \*Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.

#### **Resumen**

A un grupo de alumnos, aspirantes a ingresar a la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Litoral, se les presentó un problema con dibujos a nivel “microscópico” que consistía en esquematizar una solución de azúcar en agua y dar una explicación del esquema realizado.

Se cuantificaron y analizaron las respuestas de estudiantes y se entrevistaron a aquellos alumnos cuyos esquemas y justificaciones se consideraron interesantes en tanto transparentaban algunos de los problemas inherentes a los procesos de enseñanza y aprendizaje de la Química.

Este trabajo procura poner de manifiesto estas dificultades, a saber, los errores referidos al concepto de solución y sistemas materiales en general, obstáculos para identificar y circular entre los niveles macro y micro, problemas para utilizar el modelo cinético molecular y carencia de representaciones cognitivas adecuadas.

**Palabras clave:** Modelo corpuscular de la materia; soluciones; química general.

#### **Abstract**

A group of prospective students, taking an entrance course for admission to the Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas of Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, were asked to draw the diagram of a solution of sugar in water at “microscopic” level and provide an explanation of their representation. The students’ responses were quantified and analyzed. Interviews were administered to the authors of the most representative diagrams and explanations, since they portrayed problems inherent to the teaching-learning process in Chemistry.

The aim of this work is to analyze the students’ difficulties, namely, errors in the conceptualization of a solution and of material systems in general, obstacles to identify macro and micro levels, problems in the use of the molecular kinetic model, and lack of adequate cognitive representations.

**Key words:** particle model, solutions, general chemistry.

## **INTRODUCCIÓN**

El premio Nobel Richard Feynman (1963) dijo que, si por algún cataclismo fuera destruido todo el conocimiento científico y solamente pasara una frase a la siguiente generación, que contuviera el máximo de información con el mínimo de palabras, ésta se referiría a la hipótesis atómica: “todas las cosas están formadas por átomos, pequeñas partículas que se mueven con movimiento perpetuo, atrayéndose unas a otras cuando están separadas por una pequeña distancia, pero repeliéndose cuando se las trata de apretar una contra otra”. Coincidimos con este investigador que esta hipótesis concentra una cantidad enorme de información y nos aporta valiosas explicaciones acerca del mundo, sólo hay que aplicarla con creatividad y entusiasmo.

Entre las dificultades para aprender química está justamente la comprensión del modelo corpuscular de la materia, que conlleva ideas contraintuitivas, tales como la del vacío, frente a la apariencia continua y generalmente estática con que la percibimos (Pozo, 1998). La historia de la química nos da un ejemplo de lo difícil que fue su

aceptación y nos aporta algunos elementos para comprender las dificultades de los alumnos.

La constitución de la materia era un tema que ya preocupaba a los filósofos de tiempos muy remotos. La teoría atómica fue adoptada y propagada por Demócrito de Abdera (460-370 a. de J. C.). De sus obras se conservan unos pocos fragmentos, pero se conocen sus ideas por referencias de otros filósofos. “Aristóteles dice que Demócrito creía que los átomos eran duros, tenían forma y tamaño y quizás peso (aunque esto se discute) y eran invisibles a causa de su tamaño pequeño. No tenían color, sabor ni olor, puesto que esas propiedades sólo son secundarias o subjetivas. Los átomos estaban, según Demócrito, en un incesante movimiento y el universo sólo es un inmenso vacío en el cual se mueve un enorme conjunto de átomos empujados por un destino ciego” (Partington, 1945).

Sin embargo Aristóteles (384-322 a. de J. C.), que fue el más influyente de los filósofos griegos, pensaba que la materia era continua y el vacío era imposible. Sus ideas ejercieron en Europa una autoridad casi suprema durante unos veinte siglos. Si bien no todas sus afirmaciones fueron originales, lo sorprendente y realmente nuevo es la síntesis que realiza con los conocimientos de la época. Logra desarrollar una propuesta coherente, ordenada, unificada para explicar con audacia y creatividad tanto el movimiento de los planetas como el de los proyectiles, las transformaciones de las sustancias, el nacimiento, el crecimiento y la muerte de los seres vivos.

Aspectos de la cosmología aristotélica, que a primera vista podrían ser concebidos como desvinculados, por ejemplo, la teoría del movimiento, la finitud del universo y la imposibilidad del vacío, en realidad están fuertemente engrazados. Suponer un centro en el universo es imprescindible para la teoría del movimiento aristotélica ya que los cuerpos se mueven hacia “arriba” o hacia “abajo”. Asimismo el universo debe ser finito; si fuera así debería tener un centro, y al ser finito debe estar lleno porque si se admite el vacío, afirma Aristóteles, podríamos imaginar una concatenación de materia y vacío que no tiene por qué tener límites.

La coherencia interna del sistema aristotélico, unida al hecho de que muchas de las suposiciones de Aristóteles parecen responder al sentido común, se constituye en una estrategia persuasiva que podría, en principio, explicar la vigencia del pensamiento aristotélico. Sin embargo, también hay que agregar a este análisis el poder ejercido por la Iglesia Católica durante la Edad Media (Boido, Flichman y Yagüe, 1988).

No obstante, la teoría atómica no desapareció. La enseñó la Escuela de Epicuro (341-270 a. de J. C.) de la cual tenemos referencias en el poema *De Rerum Natura* de Lucrecio (siglo I a. de J. C.): “Atiende ahora; habiéndote demostrado que las cosas no pueden nacer de la nada ni, una vez nacidas, ser devueltas de nuevo a la nada,... déjame citarte otros cuerpos cuya existencia material deberás admitir aun siendo invisibles....

... es indudable que ningún reposo se ha concedido a los átomos a través del profundo vacío, sino que, agitados en continuo y vario movimiento, unos rebotan, después de chocar, hasta grandes distancias, mientras otros sufren los golpes dentro de un breve espacio. Los que, más densamente asociados, chocan y rebotan dentro de exiguos intervalos, trabados como están por la maraña de sus formas, constituyen las tenaces raíces de las peñas, la indómita sustancia del hierro y los demás cuerpos de este género”.

También Asclepiades de Prusa introdujo la idea de lo que hoy llamamos moléculas por el año 100 a. de J. C. (Partington, 1945).

Pero las suposiciones atomistas no fueron, en ese momento, tan convincentes ni respetadas. Sin embargo, muchos siglos después, comenzaron a derribarse mitos aristotélicos. Las especulaciones teóricas, unidas a resultados experimentales

interesantes dieron sus frutos y la teoría atómica se tornó fecunda para la Química a partir de Dalton (1766-1844).

Ahora bien, a la hora de enseñar Química a nuestros estudiantes observamos que no se plantean estas controversias y por ende, no adhieren concientemente a ningún sistema filosófico. A simple vista, aceptan, sin discusiones, el modelo de partículas que se les presenta en la enseñanza, ¿pero cómo lo utilizan?; ¿lo incorporan al dar explicaciones acerca de los fenómenos que los rodean?

Con un título muy sugestivo: “¿Es un átomo de cobre maleable?” Ben-Zvi, Eylon y Silberstein ya habían alertado, en 1986, sobre las dificultades. A este trabajo le suceden muchos sobre la utilización del modelo corpuscular de la materia que cubren distintos temas, de los cuales podemos mencionar, como ejemplos, los de Gabel, Samuel y Hunn (1987), Smith y Metz (1996), Perren (2001), Raviolo (2001), Perren, Bottani y Odetti (2004), Nappa, Insausti y Sigüenza (2005) y (2006) y especialmente el de Haidar y Abraham (1991), en el que se inspira el nuestro.

Por su parte, Pozo y Gómez Crespo (1998) afirman que los alumnos utilizan muy poco el modelo corpuscular en sus interpretaciones y cuando lo hacen, inducidos por la situación, asignan a las partículas las propiedades del mundo que los rodea.

Sin embargo, las dificultades respecto al modo de efectuar mejor las representaciones microscópicas en el papel, siguen presentes y son motivo de preocupación de docentes e investigadores. Por ejemplo, reconocemos que las representaciones de vistas macroscópicas acompañadas por las correspondientes a “ampliaciones” del nivel microscópico pueden ser una de las mejores opciones al comienzo. Sin embargo, los alumnos deberán ir incorporando e interpretando otras formas; una representación única que incluya un recipiente y dentro de él las moléculas, iones, etc. puede ser más cercana al alumno, más simple para poner en evidencia algunos errores, aunque exigirá un mayor esfuerzo de abstracción para diferenciar los niveles. Los estudiantes deberían comprender qué es un modelo y que el mismo tiene limitaciones. Docentes y alumnos deberían consensuar las formas de representación, tomando conciencia de las “licencias artísticas” que se toman: qué se pretende mostrar y qué se oculta o distorsiona.

Galagovsky, Rodríguez, Stamati y Morales (2003) nos advierten sobre la diversidad de lenguajes (ej. gráfico, formal, verbal, visual) que utilizamos durante la enseñanza: ...”Un lenguaje verbal correcto puede ocultar aprendizajes exclusivamente memorísticos”...”Si el cruce de expresiones en lenguajes diferentes muestra incoherencias éstas pueden estar evidenciando errores en el aprendizaje.”

**Objetivo:** En nuestro estudio se pretende indagar, en un grupo de alumnos aspirantes a ingresar a la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas de la UNL, cómo utilizan los conceptos y el modelo de partículas en el caso de una solución.

## METODOLOGÍA

La experiencia se realizó con 210 alumnos, elegidos al azar, aspirantes a ingresar a la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, de la Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.

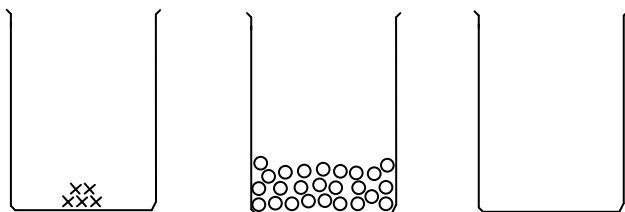
Se pretendía que los alumnos esquematizaran a nivel microscópico una solución de azúcar en agua y explicaran esta representación. Para evitar las respuestas sólo macroscópicas, el enunciado sugería con sus dibujos el nivel “microscópico” esperado.

Se seleccionaron algunas respuestas interesantes ya que permitían recoger ideas y dificultades y se efectuaron entrevistas a estos estudiantes.

El enunciado del problema fue el siguiente:

*El dibujo de la izquierda representa un recipiente con moléculas de azúcar y a su lado otro con moléculas de agua. Represente en el tercer recipiente la solución de azúcar en agua. Considere que todo el azúcar se disolvió.*

*Explique su respuesta.*



x representa una molécula de azúcar

o representa una molécula de agua

### Categorización de las respuestas

Al analizar los dibujos de los alumnos surgieron patrones muy interesantes que dieron lugar a su categorización.

A su vez, dado que el dibujo del enunciado los debería haber remitido, en las explicaciones, al nivel microscópico, se hizo una categorización de acuerdo al nivel al que se refirieron.

Se incorporó la categoría “menciona partículas” porque podría significar moléculas o bien tratarse de un nivel intermedio entre el macroscópico y el molecular: durante la disolución se forman trozos cada vez más pequeños de azúcar. Esta categoría resultó con un porcentaje muy pequeño.

En consecuencia se hicieron dos categorizaciones: una atendiendo al dibujo solamente y otra que se refiere a la explicación, tal como se describe a continuación.

#### **Categorización con respecto al dibujo:**

**Sin dibujo:** Cabe aclarar que los alumnos que no dibujaron tampoco explicaron; en resumen, no respondieron.

**Dibujo correcto:** Moléculas de azúcar distribuidas de manera aproximadamente uniforme entre las moléculas de agua.

**Azúcar sin disolver:** todas las moléculas de azúcar en el fondo del recipiente (algunos las ubicaron todas en la superficie); no las distribuyen entre las moléculas de agua.

**Sólo agua:** Dibuja sólo moléculas de agua.

**Moléculas superpuestas:** Las moléculas de azúcar parecen estar dentro de las moléculas de agua:

**A simple vista:** No hay moléculas. Dibuja una línea dentro del recipiente para indicar el nivel de la solución o dos líneas, como indicando fases.

**Otros:** Dibuja sólo moléculas de azúcar, u otro tipo de molécula, o menor número de moléculas distanciadas exageradamente, sugiriendo un gas.

**Categorización con respecto a la explicación** (independientemente de que ésta sea correcta o no):

**No explica** (pero hay un dibujo)



**Menciona moléculas:** Utiliza esa palabra.

**Menciona partículas:** Utiliza esa palabra, pero no moléculas.

**Definiciones, lo que percibe:** No hay referencias al nivel “microscópico”. Ej.: Se disuelve, se forma agua dulce, un sistema homogéneo, etc.

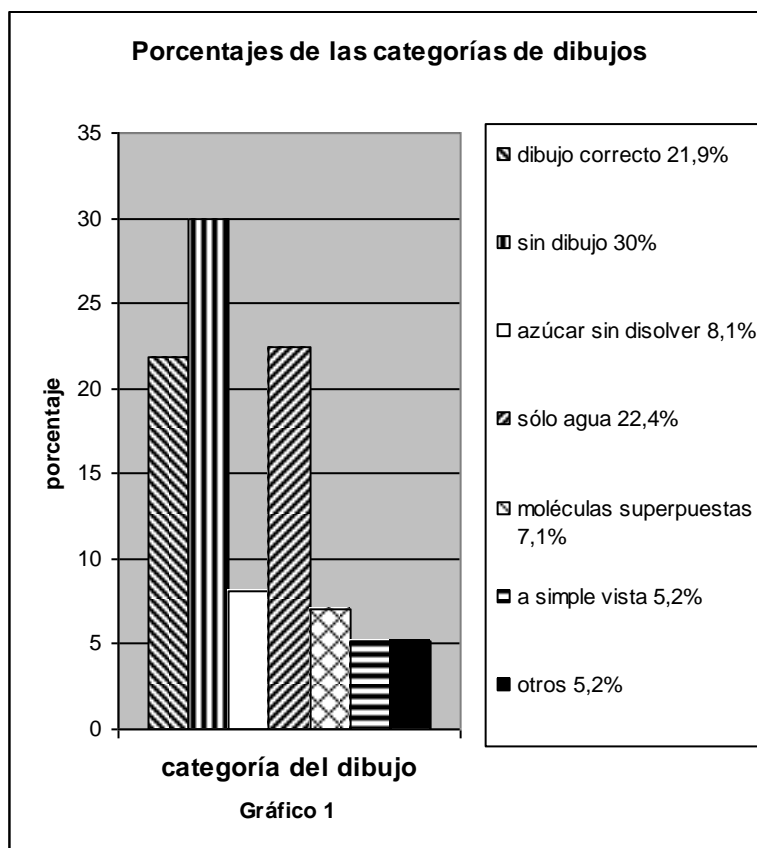
## RESULTADOS

Interesaba conocer qué porcentaje de alumnos respondía a una u otra categoría. Dado que los dibujos podían ser muy sugestivos de distintos modelos mentales, buscamos más información a través de la explicación y de las entrevistas.

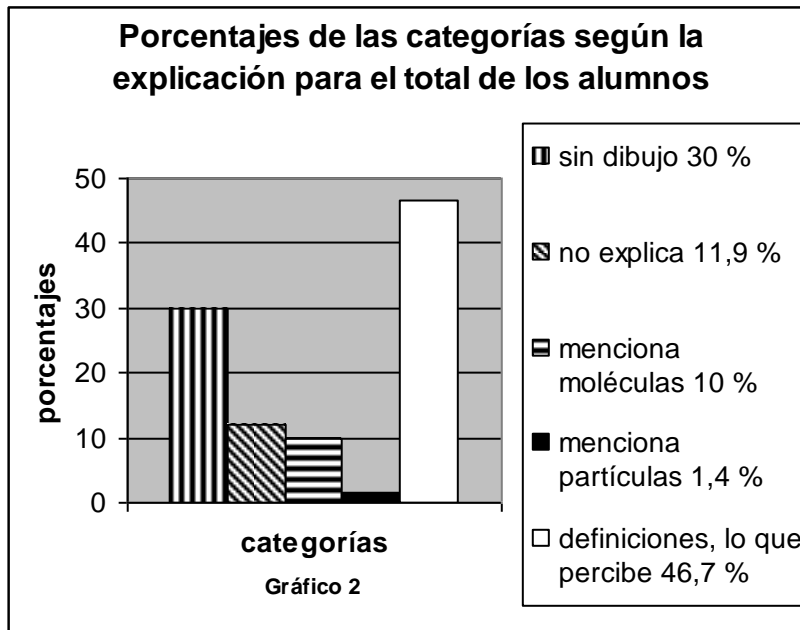
En consecuencia los resultados se agruparon de la siguiente manera:

- 1.- Resultados de una y otra categoría para el total de los alumnos.
- 2.- Explicaciones dentro de las categorías de dibujos y resumen de algunas entrevistas.

1.- En el gráfico 1 pueden verse los porcentajes correspondientes a cada categoría según el dibujo:



En el gráfico 2, que se muestra a continuación, se dan los porcentajes de cada categoría según la explicación, para el total de los alumnos; se agrega además el porcentaje sin dibujo (como dijimos antes, los que no habían hecho un dibujo tampoco habían explicado).



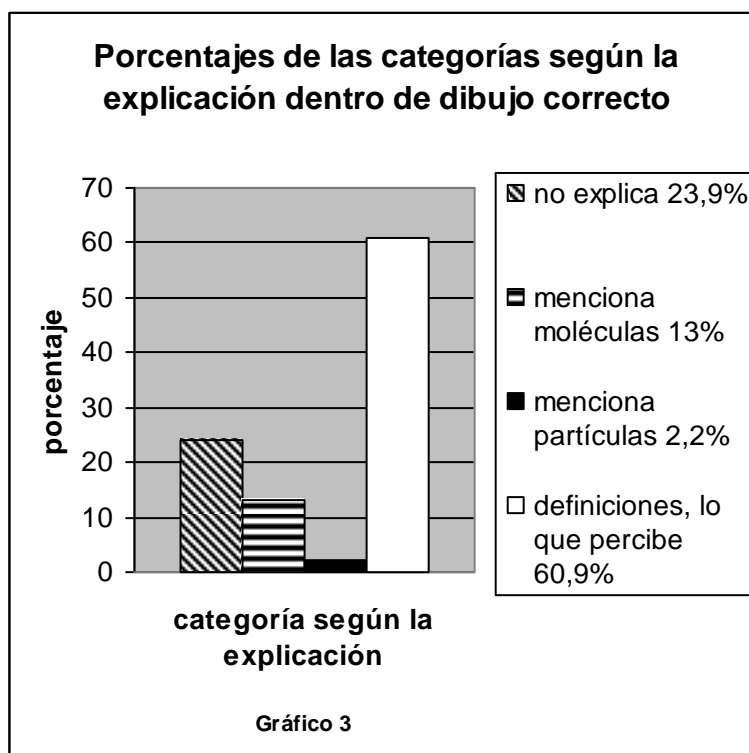
Se consideró como explicación aceptable a nivel de moléculas una semejante a: “Las moléculas de azúcar se distribuyen uniformemente entre las moléculas de agua.” No hubo respuestas más completas.

Si consideramos el total de alumnos que hicieron la prueba (210), sólo el 2% tiene la combinación de dibujo y explicación aceptables a nivel de moléculas.

Aunque esperábamos una explicación donde se mencionaran moléculas, no podríamos decir que respuestas semejantes a “se forma una mezcla homogénea” sean incorrectas; de éstas, para el total de alumnos y combinada con dibujo correcto, tenemos un 2,4%.

**2.-** A continuación se hace un análisis fundamentalmente cualitativo de las categorías de dibujos más importantes, analizando las explicaciones.

**a) Dibujo correcto (46 alumnos)**



Dentro de los alumnos que mencionan moléculas en su explicación, aproximadamente 1/3 lo hace con errores y también el alumno que menciona partículas.

El enunciado dice que se forma una solución. La última categoría según la explicación (definiciones, lo que percibe) incluye el uso de definiciones como sistema homogéneo, mezcla heterogénea, etc. o lo que se observaría a simple vista, o repite el enunciado.

#### **b) Azúcar sin disolver (17 alumnos)**

Algunas respuestas:

Los dos alumnos que mencionan moléculas en sus explicaciones dicen aproximadamente que las moléculas de azúcar después de cierto tiempo quedan en el fondo del recipiente porque la molécula de azúcar es más pesada que la molécula de agua.

De los seis alumnos que explican según definiciones y lo que percibe:

Dos alumnos son incongruentes con el dibujo, ya que afirman que el azúcar se disuelve.

Cuatro alumnos dicen que el azúcar no se mezcla porque: forman dos fases, o porque después de un tiempo el azúcar se decanta en el fondo, o porque el agua es líquida, el azúcar sólido y queda abajo.

#### **c) Sólo agua (47 alumnos)**

Explicaciones de los cinco alumnos que mencionan moléculas: Uno dice que como el azúcar se disuelve en las moléculas de agua, sólo se ve agua; otro afirma que las moléculas de azúcar “desaparecen” (las comillas son del alumno). A una alumna que dice que las moléculas de azúcar se disuelven, “desaparecen” se le hace una entrevista cuyo resumen se da a continuación. Los demás afirman que sólo se verán las moléculas de agua, ya que las de azúcar quedarán disueltas.

Alumna: Porque yo al mezclar azúcar con agua, si lo disolvía totalmente lo que veía era agua, nada más. Entonces era como si el azúcar desapareciera. Seguía estando pero no lo podía ver, lo que veía era el agua, por eso hice los circulitos.

...

Docente: (refiriéndose al dibujo): De alguna manera has delimitado el volumen que ocupa una molécula. ¿Qué hay entre las moléculas?

.....

A: No sé....Aire...Un espacio.

.....

A: (refiriéndose a las moléculas de agua): No me las imagino dibujadas como un círculo, sino que están todas juntas; no creo que se pueda diferenciar a simple vista una molécula de agua de otra, es un sistema homogéneo. En ese estado son líquidas, pueden llegar a ser gaseosas.

D: ¿Qué son líquidas?

A: Las moléculas de agua.

D: ¿Las moléculas de agua son líquidas? ¿Y entonces las moléculas de azúcar?

A: Se disuelven en el agua que son líquidas.

D: ¿Las moléculas son líquidas? ¿Y las de azúcar?

....

A: No, no sé.

....

A: (refiriéndose a las moléculas): Ante una reacción ellas responden. Si muevo el recipiente ellas se van a mover, pero si está en absoluto estado de reposo no.

De los treinta y ocho alumnos que explican según definiciones y lo que percibe: Abunda el uso de descripciones como: se disuelve, se forma agua dulce, no se puede distinguir el azúcar. Incluso que se forma un compuesto, una sustancia, un sistema heterogéneo.

Un gran número expresa que el azúcar se disuelve en el agua hasta que no se la puede distinguir. Algunos agregan que una vez que el azúcar está disuelto, sólo vemos agua.

La siguiente es una selección de una entrevista a otra alumna que justifica: “Si se vuelca el azúcar en el agua hasta una disolución total, el azúcar desaparece físicamente y se forma agua dulce, que es una sustancia simple.”

A: ...Como el azúcar se disuelve en el agua y no se nota, puse como agua, me quedaría agua dulce.

D: ¿Y dónde están las moléculas de azúcar?

A: Disueltas

...

A: Están adentro de las moléculas de agua.

D: ¿Y por qué pusiste: el agua dulce es una sustancia simple?

A: No. El agua ya es una sustancia compuesta. No, se forma una sustancia compuesta porque tiene varios elementos.

D: ¿Se mueven las moléculas, según tu modelo?

A: Sí.

A: ¿Siempre o sólo cuando agito?

A: Están constantemente en movimiento.

Me imagino que cada molécula está pegada a la otra y no hay lugar para nada más dentro del recipiente.

D: ¿Se mueven las moléculas de azúcar en el sólido?

A: Sí.

#### **d) Moléculas superpuestas (15 alumnos)**

Explicaciones de los cinco alumnos que mencionan moléculas:

“Al mezclarse el agua y el azúcar las moléculas se unen pasando a un estado líquido”

“Al disolverse las moléculas de azúcar en el agua no se diferencian las fases, por lo que sólo se grafica el agua.”

Dos dicen que como está totalmente disuelto en cada molécula de agua hay azúcar.

La siguiente selección pertenece a la entrevista que se le realiza a una alumna que responde: “Las moléculas de azúcar son disueltas y contenidas en el agua”

(El dibujo de la prueba muestra las moléculas de azúcar dentro de las moléculas de agua pero en la disposición original del cristal)

A: ...Acá está el dibujo que realicé. Los circulitos que representan el agua y después ahí en el medio el azúcar, como que en un primer momento el azúcar queda; se puede ver con el agua, contenido ahí en el agua y después aclaré que eso es lo que se puede observar: el azúcar contenido en el agua. Pero después de un tiempo si se disuelve ese azúcar, obvio que va a ser otro el dibujito; queda otro sistema, un sistema homogéneo.

...

... reaccionando el agua con todo el azúcar (dibuja todas las moléculas de agua con una molécula de azúcar adentro de cada una)

D: Están dibujadas adentro, ¿no es cierto?

A: Sí están dibujadas adentro, pero es para decir que están todas mezcladas o interconectadas.

...

D (volviendo al dibujo de la prueba): ¿Las moléculas de azúcar están adentro de las moléculas de agua?

A: No. Acá yo lo puse como si fuera eso, pero no...

...(dibuja las moléculas de azúcar fuera de las moléculas de agua, pero representando otra fase)

... (Volviendo al dibujo de la solución, repite lo mismo que al principio)

D: En todas las moléculas de agua hay una molécula de azúcar. ¿Y vos tenías una cantidad de moléculas como para poner una molécula de azúcar adentro de cada moléculas de agua?

A: Y... como tener no; pero yo lo dibujé así. No sé.

(Según su modelo las moléculas de agua no son líquidas y están siempre en movimiento)

Los nueve alumnos que explican según definiciones y lo que percibe:

En general dicen que es una mezcla homogénea, una fase, agua azucarada, dos dicen que se forma una sustancia homogénea.

Uno dice que se mezcla y queda en forma de líquido (dibuja sombreado entre las moléculas y por encima del nivel de éstas).

Una respuesta interesante: "La represento ☒ porque el azúcar X una vez disuelta le da un sabor dulce al agua ○. Queda una sustancia homogénea de "agua dulce", es decir, el agua disuelve el azúcar tomando de ella ciertas características, el sabor, por ej. El agua no aumenta su volumen, ya que el agua hace "desaparecer" el azúcar, que podría significar un incremento de volumen antes de su disolución." A este alumno se le hizo una entrevista:

A: Lo que yo quise decir es que el azúcar era disuelta por el agua... El agua disuelve el azúcar por lo tanto el agua no aumentaba de volumen... quedaba con un sabor dulce, como para no meterme mucho en el tema a nivel molecular.

...

D: ¿Por qué dibujaste las moléculas de azúcar adentro de las moléculas de agua?

A: Porque el agua disolvía al azúcar.

...

A: Si bien las moléculas de agua eran líquidas, yo sabía, pero después los componentes, como el oxígeno y el hidrógeno, no, son gaseosos; esos son conocimientos básicos.

...

A: ...más que nada dibujé el azúcar ahí adentro del agua porque acá puse que le quedaba como un sabor dulce como para decir que todavía están presentes en el tema de disolución.

...

A: Entre las moléculas de agua no hay nada más que agua. Todo el recipiente está cubierto de agua.

...

A: Las moléculas de agua tendrían que ocupar todo.

D: Esas moléculas, en tu modelo, ¿se mueven? ¿O están quietas?

A: están quietas.

### e) A simple vista (11 alumnos)

Un alumno no justifica.

Tres alumnos con errores: Uno dice que se forma un compuesto homogéneo; otro, una sustancia homogénea. Un tercero dibuja dos fases (dos líneas): "el azúcar va a quedar en el fondo ya que el agua es más liviana."

El resto habla de fase, mezcla homogénea, o repite solución.

## CONCLUSIONES

Este trabajo pone de manifiesto una cantidad de dificultades y carencias por parte del alumno que no siempre son detectadas. Entre ellas, los errores referidos al concepto de solución y sistemas materiales en general, obstáculos para identificar y circular entre los niveles macro y micro, problemas para utilizar el modelo cinético molecular y carencia de representaciones cognitivas adecuadas.

Pese a que el enunciado los refiere al nivel microscópico, un elevado número de alumnos no logra mantenerse en este nivel (no contestan, recurren a descripciones macroscópicas, definiciones, etc.) y en algunos casos, soslayan el nivel teórico en forma deliberada. La mayoría intenta hacer coincidir las observaciones macroscópicas con lo microscópico (el azúcar “desaparece”, por lo tanto sólo hay moléculas de agua), el azúcar se disuelve (en las moléculas de agua). La comprensión respecto a los sabores sólo queda en un plano empírico.

En las entrevistas, realizadas a los alumnos que habían expresado más claramente lo sugerido en sus dibujos, aparecen otras características de sus modelos: las moléculas tienen las propiedades de las sustancias (las moléculas de agua son líquidas); no existe vacío (imaginan que las moléculas están muy juntas, sin espacios, hay más agua, etc.); las moléculas se mueven sólo al mover el recipiente.

La historia de la ciencia provee datos sobre formas de pensar que aún están presentes en nuestros alumnos, aunque algo modificadas. Los dibujos del enunciado los remitía al nivel de moléculas; los estudiantes que, a pesar de los modelos químicos aprendidos, sustentaban una visión continua de la materia, trataron de aplicar esta idea a esas partículas. Otros, en las entrevistas, al darse cuenta de que no podían compatibilizar ambas posiciones, señalaron, con sus propias palabras, que no podían imaginarse la discontinuidad de la materia.

Los dibujos incorrectos de por sí indicaban el modelo equivocado que podrían estar manejando los alumnos y fue confirmado a través de las explicaciones y entrevistas. No obstante, muchos dibujos correctos también manifestaron errores en las explicaciones.

El problema resultó muy simple y útil como diagnóstico, pero también despertó mucho el interés de los alumnos y de los docentes cuando posteriormente se discutieron los modelos construidos y la elaboración de una propuesta de enseñanza.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ben-Zvi, R.; Eylon, B. y Silberstein, J.** (1986). *J. Chem. Educ.*, 63(1), 64-66.
- Boido G.; Flichman E. y Yagüe J.** (1988) *Pensamiento Científico*. Ed. Prociencia-CONICET, Bs. As.
- Feynman, R. P.; Leighton R. B. y Sands M.** (1963) *The Feynman Lectures on Physics, Mainly Mechanics, Radiations and Heat*. Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts; Vol. I, Cap. 1.
- Gabel, D. L.; Samuel K. V.; Hunn, D.** (1987). *J. Chem. Educ.*, 64(8), 695-697.
- Galagovsky, L. R.; Rodríguez, M. A.; Stamati, N.; Morales, L. F.** (2003). *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 107-121.
- Haidar, A. H.; Abraham, M. R.** (1991). *J. Res. Sci. Teach.*, 28(10), 919-938.
- Nappa, N.; Insausti, M. J.; Sigüenza, A. F.** (2005). *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(3), 344-363.
- Nappa, N.; Insausti, M. J.; Sigüenza, A. F.** (2006) *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(1), 2-22
- Partington, J. R.** (1945) *Historia de la Química*. Espasa-Calpe, Buenos Aires, Argentina.
- Perren, M. A.** (2001) Comprensión de conceptos y resolución de problemas en química. Magister Tesis, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
- Perren, M. A.; Bottani, E. J. y Odetti, H. S.** (2004). *Enseñanza de las Ciencias*, 22(1), 105-114.
- Pozo J. I. y Gómez Crespo M. A.** (1998) *Aprender y enseñar ciencia*. Ediciones Morata, Madrid.

**Raviolo, A.** (2001). *J. Chem. Educ.*, 78(5), 629-631.

**Smith, K. J. y Metz, P. A.** (1996). *J. Chem. Educ.*, 73(3), 233-235.

# ***Ideas para el aula***

## **UNA PROPUESTA DE CLASE DIFERENTE: POGIL**

**M. Rosario Soriano**

Facultad Regional Buenos Aires (UTN), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina  
mrs@secyt.frba.utn.edu.ar

### **Resumen**

En este trabajo se presenta una propuesta de clase diferente a la de nuestros cursos expositivos tradicionales. En la misma los alumnos trabajan en pequeños grupos con material cuidadosamente preparado. Esa propuesta se basa en el hecho de que hoy se sabe que los alumnos aprenden más si tienen un compromiso activo y construyen su propio aprendizaje, interactuando con otros. Se desarrolla un ejemplo que explora esta metodología aplicada al tema de Gases Ideales.

**Palabras clave:** educación centrada en el alumno, compromiso activo, pensamiento crítico, construcción del conocimiento, método POGIL

### **Abstract**

A different class methodology is presented, according to which the students work in teams, on especially prepared activities. This particular methodology is based on the widely accepted fact that students learn better when they are actively engaged and construct their own understanding, interacting with classmates. An example, applying this methodology on the subject Ideal Gases, is presented.

**Key words:** Student-centered education, active commitment, critical thinking, knowledge construction, POGIL method.

## **INTRODUCCIÓN**

Habitualmente nuestros cursos se desarrollan en aulas en las que los alumnos se distribuyen en la sala, ubicados de forma de poder atender al maestro/profesor que expone al frente y escribe en la pizarra o exhibe imágenes. Este tipo de clase expositiva tradicional se basa en una serie de supuestos sobre las capacidades cognitivas de los estudiantes y sobre cómo aprenden los estudiantes. Los docentes suponemos a menudo, aunque no seamos siempre conscientes de ello, que todos los estudiantes tienen conocimientos previos similares, que necesitan la misma información, presentada oralmente y con la misma celeridad, sin diálogo con el presentador, y en forma impersonal. Con la metodología tradicional hay estudiantes que tienen éxito memorizando información y algoritmos, pero no entienden los conceptos pertinentes ni desarrollan habilidades de pensamiento esencial y de resolución de problemas.

En la actualidad existen numerosos estudios y trabajos que han demostrado que el compromiso activo y la interacción con otros compañeros son esenciales para la mayoría de los estudiantes a fin de lograr una verdadera comprensión y retención. La propuesta que presentamos en este trabajo es una estrategia centrada en el estudiante. El objetivo no se ciñe únicamente a desarrollar el dominio de los contenidos a través de la construcción de su propia comprensión por parte del estudiante, sino que también busca reforzar habilidades de aprendizaje tan importantes como son: el procesamiento de la información, la comunicación oral y escrita, el pensamiento crítico, la resolución de problemas, y la metacognición y evaluación.

**¿DE QUÉ SE TRATA ENTONCES POGIL?** (Process-Oriented Guided-Inquiry Learning)



Es una metodología basada en la concepción de que los estudiantes aprenden mejor cuando están activamente comprometidos y construyen ellos mismos su propia comprensión, (Bransford et al., 1999). Esta metodología cuenta con material para el estudiante cuidadosamente organizado para desarrollar los temas que se tratan en un curso introductorio de Química. Con este material los estudiantes trabajan en grupos, e investigan el tema a partir de modelos claramente planteados, además de preguntas que guían el trabajo.

Los alumnos, organizados en grupos de preferentemente tres o cuatro integrantes, analizan y leen con otros las preguntas que los van guiando, aprenden a discutir y conciliar posiciones sobre los temas, a redactar respuestas y definiciones, examinan y eligen con otros las mejores respuestas. En el trabajo cooperativo, se explican unos a otros y descubren cuánto han comprendido, aprenden a formular preguntas que deben ser claras para que los demás las entiendan. Es un proceso en etapas en el que hay asociación, repetición, cuestionamiento. Todos estos aspectos no están presentes en una clase tradicional expositiva, donde el alumno tiene un rol pasivo.

Parte del trabajo del docente que guía el curso es enseñar a los alumnos a trabajar en grupo, saber escuchar, saber intervenir. Dentro del grupo es bueno que haya roles y que los mismos vayan rotando de clase en clase. Habrá un moderador, un lector, uno que toma nota, uno que expone cuando se hacen las puestas en común de los grupos. Quien sea moderador deberá ceder la palabra y lograr que se hable ordenadamente respetándose; además deberá gerenciar los otros roles, cuidar que se tome nota y que se tengan en cuenta los acuerdos alcanzados. Es bueno que sólo una persona del grupo sea la que hace preguntas al docente, generalmente las debe hacer el moderador.

Las puestas en común son muy enriquecedoras, porque deben ponerse de acuerdo cuando las respuestas de distintos grupos no coinciden, o deben corregirse entre los grupos la redacción y claridad de las respuestas. Todo esto en conjunto provoca cambios de conductas importantes para la inserción de los futuros profesionales en la sociedad.

El material de Química General de Moog (2006) es un libro de fichas de trabajo que han sido traducidas al español por los Profesores Granda, Lamba, Pardo y Resto de Puerto Rico (2004). El libro de trabajo consta de 62 fichas que abarcan los siguientes temas: Estructura Atómica; Estructura Molecular; Sólidos y Líquidos; Estequiometría; Termoquímica; Equilibrio; Ácido Base; Oxido Reducción; Termodinámica y Cinética. Estos son los mismos temas que se tratan habitualmente en los cursos de Química General y las 62 fichas se pueden desarrollar en 16 semanas, que es la duración de nuestros semestres. Este material cuenta también con un libro de texto de Spencer (2006), pero puede usarse acompañado de cualquier buen texto de Química General.

## **UN EJEMPLO**

Un breve ejemplo de una actividad POGIL puede mostrar cómo la metodología difiere de una presentación más tradicional y puede ayudar a clarificar estas ideas. Consideremos la introducción de algunas ideas básicas acerca del tema gases ideales. En una clase expositiva tradicional, el profesor presenta y explica la ecuación general de los gases ideales, da ejemplos, grafica curvas (o las muestra en el frente), relata situaciones históricas y da los nombres de las personas que, a lo largo de la historia, han estudiado el tema (Dalton, Proust, Avogadro, en el caso de gases, etc). Con el método POGIL se trata el tema de manera muy diferente. Como se mencionó, los estudiantes trabajan en pequeños grupos en una actividad especialmente diseñada, con el docente que sirve como un facilitador quien escucha la discusión y sólo interviene si es

necesario. Esta actividad podría empezar con una tabla de datos de presión y volumen a dos o tres temperaturas fijas para dos o tres gases monoatómicos. La masa de cada gas será fija y estará especificada. A continuación de la tabla de datos se presenta una serie de preguntas bien formuladas que van guiando el análisis de los datos o del modelo presentado. Los alumnos, en cada grupo, deberán leer con atención el modelo presentado y discutir entre todos los participantes del grupo las preguntas que aparecen en la ficha de trabajo. De este modo, juntos irán descubriendo las relaciones entre los datos de la misma manera que lo hicieron los investigadores que generaron estos conocimientos y teorías hace ya muchos años.

Las primeras preguntas que aparecen requieren observar el comportamiento de los datos experimentales presentados en la tabla: ¿Cómo son los volúmenes a medida que la presión aumenta, a una temperatura fija?, ¿Cómo son los volúmenes para una misma presión cuando aumenta la temperatura? ¿Cómo es el valor de  $P \times V$ ? Luego las preguntas guía van llevando a los participantes a proponer hipótesis que deben discutir y defender en cada grupo. Los datos de temperatura en las tablas están en grados Celsius por lo que deberán encontrar la escala de temperaturas absolutas para llegar a la ecuación general. Luego de las preguntas aparecen indicaciones sobre los gráficos que deben construir; así, en lugar de presentar los gráficos y las ecuaciones, son los participantes quienes los desarrollan y analizan. Entonces, a partir de las curvas que obtienen, pueden plantear hipótesis y discutir las hasta tener un modelo coherente con los datos experimentales que les presenta la ficha de trabajo.

Esta exploración del tema les permite proponer y probar hipótesis para explicar o entender la información que se les brinda. Los alumnos *descubren* que la relación  $P \times V$  da un valor constante para cada temperatura y para cada masa de gas. Encuentran el valor y las unidades de ese valor constante en cada caso. Si los datos han sido bien elegidos en el modelo, por ejemplo se puede proponer una masa equivalente a un mol para uno de los gases y a diez moles para el otro, con lo que las constantes resultarán una 10 veces mayor que la otra, hecho que los estudiantes, bien guiados, pueden observar. Esta primera fase en la que se realiza la observación del modelo presentado, se llama etapa de “exploración” en el ciclo de aprendizaje (Lawson, 1995).

La siguiente etapa luego de la “exploración”, será la introducción de nuevos términos. Esto es especialmente diferente de la enseñanza tradicional, en la que los nuevos términos se introducen al inicio, seguidos de ejemplos. En este caso los nuevos términos se introducen en el momento en que el estudiante ya tiene la construcción mental situada de manera tal que el nuevo término le pueda quedar asociado. De la observación de la información presentada en las tablas cada estudiante ha podido desarrollar el concepto del valor constante de  $P \times V$ . Otras tareas similares lo llevarán a encontrar las relaciones constantes para  $V/T$  y  $p/T$ , finalmente encontrarán el valor de  $R$ . Las explicaciones pertinentes, el hecho de que la constante hallada se llama  $R$  y que es la constante universal de los gases son posteriores a que ellos la hayan despejado de las ecuaciones con las que trabajaron.

Hay una fase final del ciclo de aprendizaje que es la “aplicación”. En esta etapa se aplican los nuevos conceptos a nuevas situaciones. Esta fase requiere habilidades de razonamiento deductivo. Así, una experiencia de ciclo de aprendizaje guía al estudiante para que desarrolle conceptos por sí mismo, otorgando un sentido de posesión y participación, y proporcionando una idea epistemológica sobre la naturaleza de la investigación científica.

Cabe destacar que los estudiantes que siguen este trabajo grupal guiado logran resolver problemas de mayor complejidad que los que hacen los estudiantes de un curso tradicional que se quedan generalmente con la resolución de ejercicios repetitivos.

A modo de ayuda se adjunta al final de este trabajo la primera ficha de una serie de tres que desarrollan el tema Gases Ideales. Las fichas de trabajo presentan *preguntas de pensamiento crítico (PPC), ejercicios y problemas*. Los *problemas* llegan a un grado de complejidad mayor al que suelen presentar los de textos tradicionales sobre estos temas y los problemas son resueltos por los alumnos. En el ejemplo que presenta el artículo el último problema de gases es una muestra de esto, requiere un gráfico y saber por qué hay que hacerlo para responder.

## **DISEÑO DE UNA ACTIVIDAD POGIL**

Hay dos aspectos clave para el diseño de la actividad POGIL. Primero, debe estar incluida la información apropiada para que la *exploración* inicial posibilite a los estudiantes desarrollar los conceptos requeridos. Segundo, la secuencia de preguntas guiadas se debe construir cuidadosamente para permitir a los estudiantes inferir la conclusión apropiada y al mismo tiempo promover el desarrollo de varias habilidades procesales. Típicamente, unas pocas primeras preguntas se construyen sobre la base del conocimiento previo de los estudiantes y dirigen la atención a la información que proporciona el modelo. Luego siguen algunas preguntas que promueven el pensamiento hacia el hallazgo de relaciones y el encuentro de patrones en los datos dirigidos al desarrollo de un concepto. Las preguntas finales pueden requerir pensamiento divergente para encontrar la relevancia o para buscar los límites en la generalización del nuevo conocimiento y la comprensión de los estudiantes. Así, las preguntas van creciendo una sobre otra en complejidad y sofisticación, conduciendo al grupo de estudiantes hacia el descubrimiento de un concepto químico y al mismo tiempo requiriendo (y desarrollando) una serie de habilidades adicionales. Esta forma de trabajo permite que luego se pueda extender el nuevo concepto a otras situaciones, lo que va a requerir un razonamiento deductivo, muchas veces dejado de lado en los cursos expositivos.

Esta metodología de aprendizaje permite a los participantes desarrollar conceptos por sí mismos que es muy diferente de recibir esos conceptos de otros, del docente, de los libros. Elaborar conceptos por sí mismos da un sentido de propiedad y participación diferentes, que se aproxima al trabajo del investigador cuando genera nuevos conocimientos. En el sitio POGIL ([www.pogil.org](http://www.pogil.org)) se puede encontrar material sobre cómo desarrollar temas para trabajar con esta metodología.

## **CONCLUSIONES**

El método de aprendizaje en el que se basa POGIL permite a los alumnos ir trabajando a un ritmo más acorde a sus necesidades y a las diferencias que existen entre las personas. Aún así, es tarea del docente manejar los tiempos y darle un ritmo al trabajo grupal para que se resuelva el trabajo de las fichas y se hagan las puestas en común en un tiempo determinado. Esta modalidad puede también aplicarse a algún tema exclusivamente y no a todo el curso.

Los inconvenientes que pueden surgir con los grupos (o miembros de grupos) que se atrasan se pueden resolver cambiando la composición de los grupos, o incluso viendo con aquéllos que tienen mayores dificultades que trabajen los temas en otros horarios. Se recomienda un intercambio en la composición de los grupos después de una primera evaluación tratando de integrar alumnos que pudieron resolver la evaluación sin

dificultades con aquéllos que tuvieron mayores contratiempos.

El análisis de los modelos y de las preguntas guía se realizan en las horas de clase, mientras que los problemas se resuelven fuera de ésta y sólo si es necesario se discute algún problema en clase. Cada docente deberá organizar sus clases de modo de lograr lo mejor para sus alumnos.

Hoy necesitamos, más que nunca, profesionales con capacidad para pensar y resolver múltiples y complejos problemas (renovados casi a diario); los estudiantes deberán por tanto desarrollar un razonamiento sistemático, un espíritu y pensamiento críticos. Esta metodología responde mejor a estas exigencias que los cursos expositivos tradicionales. Quienes hemos adoptado estos cambios vemos mejoras importantes en el aprendizaje de nuestros alumnos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Bransford, J. D., Brown A. L., and Cocking R. R.** (1999) *How People Learn*. Washington, D. C: National Academy Press.

**Lawson, A. E.**, (1995) *Science Teaching and the Development of Thinking* (Belmont: Wadsworth).

**Moog R. y Farell J.**, (2006) *Chemistry a Guided Inquiry*, 3ed John Wiley & sons, Inc.

**Moog R., Farell J.** (2004), Traducción de Granda, Lamba, Pardo y Resto. *Química, un enfoque inquisitivo*, 2da Ed Wiley .

**Spencer J. N., Bodner G.M. and Richard L.H.**, (2006) *Chemistry, Structure & Dynamics*, 3rd Ed. John Wiley & sons, Inc.

## QuimActividad 1

### Gases Ideales

## ¿Cómo se comportan los gases?

### La expansión isotérmica

Las **variables** son propiedades medibles que pueden cambiar (variar). La presión, el volumen, la temperatura y la masa de un gas son variables.

Para investigar los efectos que los cambios en una variable provocan sobre otra variable, las demás magnitudes deben mantenerse constantes.

El estudio de los gases ilustra este método experimental. Más abajo presentamos una tabla de datos de presión, volumen y temperatura para dos gases diferentes, Helio (He) y Kriptón (Kr).

He y Kr que son gases monoatómicos, a bajas presiones y a temperaturas moderadas, se comportan como gases ideales.

Tabla 1

He	Presión / bar	V / dm <sup>3</sup>	Temperatura / °C	V×P
Masa = 40,02 g	3,17	78,20	25	
	2,5	99,16		
	2,0	124,00		
	1,83	135,46		
	1,5	165,26		
	1,0	247,89		
	0,87	284,94		
	0,7	354,13		
	0,5	495,79		
	0,42	590,22		
	3,17	97,87	100	
	2,5	124,10		
	2,0	155,13		
	1,83	169,54		
	1,5	206,83		
	1,0	310,25		
	0,87	356,61		
	0,7	443,22		
	0,5	620,50		
	0,42	738,68		
	3,17	124,10	200	
	2,5	157,36		
	2,0	196,70		
	1,83	214,97		
	1,5	262,26		
	1,0	393,40		
	0,87	452,18		
	0,7	561,99		
	0,5	786,79		
	0,42	936,66		
Kr	Presión / bar	V / dm <sup>3</sup>	Temperatura / °C	V×P
Masa =	3,17	7,82		

83,80 g	2,5	9,92	25	
	2,0	12,40		
	1,83	13,55		
	1,5	16,53		
	1,0	24,79		
	0,87	28,49		
	0,7	35,41		
	0,5	49,58		
	0,42	59,02		
	3,17	9,79	100	
	2,5	12,41		
	2,0	15,51		
	1,83	16,95		
	1,5	20,68		
	1,0	31,06		
	0,87	35,66		
	0,7	44,32		
	0,5	62,05		
0,42	73,87			
	3,17	12,41	200	
	2,5	15,74		
	2,0	19,67		
	1,83	21,50		
	1,5	26,23		
	1,0	39,34		
	0,87	45,22		
	0,7	56,20		
	0,5	78,68		
0,42	93,67			

Tabla 1 (cont)

### Ejercicios

Selecciona los datos a una misma temperatura, esto es cada sección de la tabla 1.

1. Comenzando con He, grafica presión en función de la inversa del volumen ( $P$  vs  $1/V$ ). Hazlo para dos temperaturas diferentes.
2. Repite el gráfico anterior para Kr, también a dos temperaturas diferentes.
3. Grafica presión en función del volumen ( $P$  vs  $V$ ) para He a dos temperaturas.
4. Repite el gráfico anterior para Kr, también a dos temperaturas diferentes.
5. Completa en la tabla la columna con los valores de  $V \times P$ . ¿En qué unidades los tienes?

Recuerda que cada conjunto de datos está a una temperatura fija y corresponde a una cantidad de masa también fija.

(Repite los gráficos para la tercera temperatura en casa)

### Preguntas de Pensamiento Crítico

- 1.- ¿Son constantes los valores  $V \times P$  que obtuviste en el ejercicio anterior?
- 2.- ¿Son iguales los valores  $V \times P$  para todas las temperaturas?
- 3.- ¿Son iguales los valores  $V \times P$  para los dos gases?

### Información

Cuando un par de variables cumplen la ecuación  $A = k \times (1/B) \Rightarrow A \times B = k$ . Decimos que A y B son **inversamente proporcionales**. El gráfico de A versus  $1/B$  debe dar una recta que pasa por el origen, mientras que en este caso el gráfico A versus B dará una curva característica. De la pendiente del gráfico A versus  $1/B$  se obtiene el valor de la constante k.

Cuando un par de variables cumplen la ecuación  $A = k \times B \Rightarrow A/B = k$ . Decimos que A y B son **directamente proporcionales**. El gráfico de A versus B debe dar una recta que pasa por el origen, mientras que el gráfico A versus  $1/B$  dará una curva característica. De la pendiente del gráfico A versus B se obtiene el valor de la constante k.

La ecuación general de una recta es  $y = m x + b$  donde  $m$  es la pendiente de la recta y  $b$  la ordenada al origen. Para una recta que pasa por el origen  $b = 0$ .

### Preguntas de Pensamiento Crítico

- 4.-¿Qué tipo de gráfico da  $P$  vs  $1/V$ ?
- 5.-¿Qué consecuencias tiene sobre  $V \times P$  que los gráficos den una recta?
- 6.-¿Cuál es la relación entre  $P$  y  $1/V$  si los gráficos son rectas?
- 7.-¿Cuánto valen las pendientes de las rectas (de los gráficos  $P$  vs  $1/V$ ) para He?
- 8.-¿Cuánto valen las pendientes de las rectas (de los gráficos  $P$  vs  $1/V$ ) para Kr?
- 9.-¿Es una recta el gráfico  $P$  vs  $V$ ?

### Información

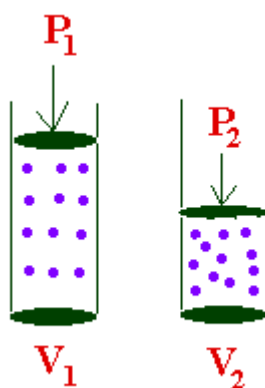
Los gráficos  $P$  vs  $V$  se llaman isothermas. En este caso los gráficos obtenidos son isothermas de **gases ideales**, cada curva está a una temperatura fija por eso la denominamos *isoterma* que es una palabra que viene del griego y significa (isos) *igual*, (therme) *calor*.

Robert Boyle fue un filósofo naturalista irlandés (Lismore, County Waterford, 1627-1691) que publicó el primer estudio sobre la relación entre el volumen y la presión de un gas. El físico francés Edme Mariotte (1620-1684) encontró la misma relación en forma independiente en 1676 y por eso se la conoce como la Ley de Boyle y Mariotte. En aquellos años los medios de comunicación eran muy diferentes a los de hoy y la gente no se enteraba rápidamente de lo que hacían otros científicos en los países vecinos, ni aún en el mismo país.

La ley de Boyle establece que el producto de la presión por el volumen era constante para una cantidad fija de gas ideal a una temperatura constante. Expresada matemáticamente:  $P \times V = k$  y también  $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$

De esta ecuación se puede despejar una variable si se conocen las otras tres, por ejemplo:

$$P_2 = P_1 \times V_1 / V_2$$



<http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/boyle.html>

[http://es.wikipedia.org/wiki/Gas#\\_buscar\\_Ley\\_de\\_Boyle-Mariotte](http://es.wikipedia.org/wiki/Gas#_buscar_Ley_de_Boyle-Mariotte)

<http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/animationsindex.htm>

### Preguntas de Pensamiento Crítico

- 10.-¿Cómo podrías obtener el valor de k con los datos de la Tabla 1?

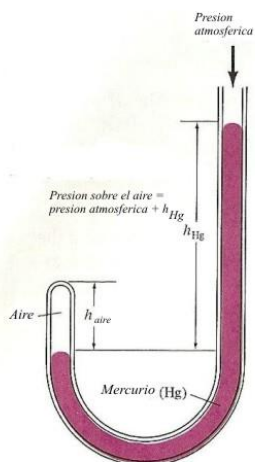
## Ejercicios

- 6.- ¿Cuál es el valor de k, para cada temperatura, en el caso del He?
- 7.- ¿Cuál es el valor de k, para cada temperatura, en el caso del Kr?
- 8.- ¿Cuáles son las unidades de las constantes (k) que calculaste?

## Problemas

- 1.- ¿A qué presión están 75,0 dm<sup>3</sup> de un gas ideal si se lo dejó expandir de 25,0 dm<sup>3</sup> y 1,00 bar a temperatura constante?
- 2.- Un gas ideal se expande a temperatura constante de 2,55 bar a 1,00 bar. El volumen final es 32,7 dm<sup>3</sup>. ¿Cuál es el volumen inicial?
- 3.- Un recipiente de volumen desconocido se llena con aire a una presión de 3,6 bar. El recipiente se conecta con otro recipiente evacuado de 4,9 dm<sup>3</sup> y se permite que el aire se expanda ocupando ambos recipientes. La presión final es 2,5 bar. Calcula el volumen del recipiente inicial.
- 4.- Demuestra que los siguientes datos cumplen la Ley de Boyle:  
 $P_{\text{atmosférica}} = 745 \text{ mmHg}$

$h_{\text{Hg}} / \text{cm}$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
$h_{\text{aire}} / \text{cm}$	25,00	24,68	24,34	24,05	23,75



La altura  $h_{\text{aire}}$  es proporcional al volumen de aire atrapado. La presión total sobre el aire atrapado es la presión atmosférica más la presión que ejerce la columna de mercurio (Hg). La altura de Hg varía a medida que se agrega Hg por el lado abierto del tubo con forma de J. Boyle que llevó a cabo esta experiencia dijo que el aire se comportaba como un resorte.



## ***Ideas para el aula***

### **GENERACIÓN DE GASES MEDIANTE DIFERENTES REACCIONES, UTILIZABLES PARA TRATAR TEMAS AMBIENTALES**

<sup>1</sup>Patricia A.M. Williams y <sup>2</sup>Evelina G. Ferrer,

<sup>1</sup>Cátedra de Química Inorgánica (Ciclo básico. Química, Bioquímica y Farmacia),  
<sup>2</sup>Cátedras de Química I (Física Médica) y Química General e Inorgánica (Prof. Cs. Biológicas), Centro de Química Inorgánica-CEQUINOR. Departamento de Química-Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata.

La Plata, Argentina

<sup>1</sup>williams@quimica.unlp.edu.ar

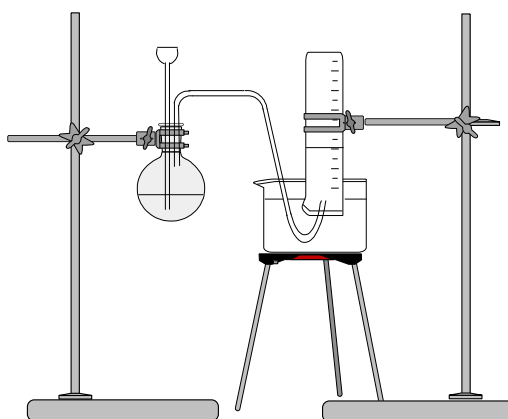
### **INTRODUCCIÓN**

Ofrecemos una práctica que está planteada para los cursos de introducción y química general para niveles de Educación media y universitaria. Se reportan ejemplos concretos de obtención de sustancias que están en estado gaseoso en CNPT (condiciones normales de presión y temperatura) y en condiciones “standard de laboratorio”.(Cotton y Wilkinson, 1999; Brauer 1958; Rayner-Canham 2000; Chang 1992).

### **PARTE EXPERIMENTAL**

#### **Parte A. Generación de gases.**

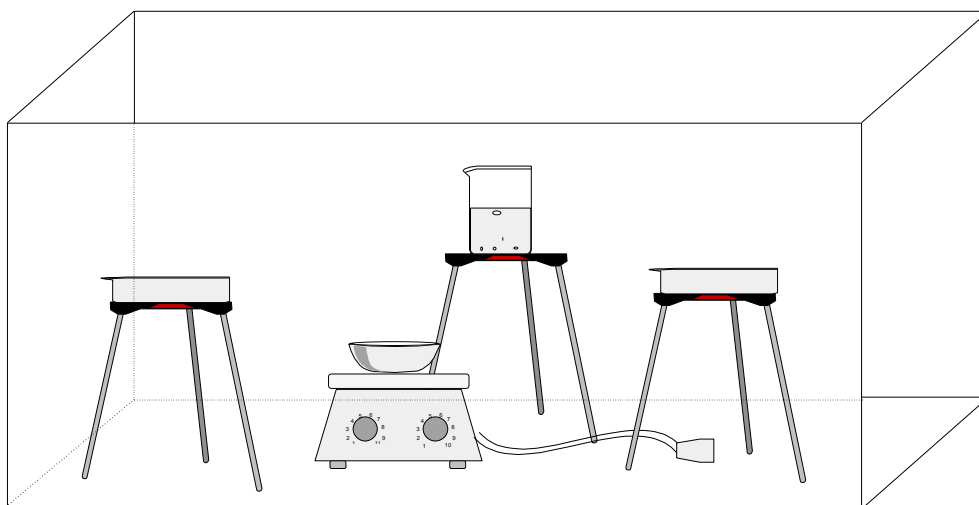
Material necesario: un balón (o Erlenmeyer o tubo boca ancha) con un tapón con dos perforaciones, atravesado con tubo de seguridad y un tubo de desprendimiento, el que llega al recipiente donde se recoge el gas (balón o probeta invertida, que puede estar llena de agua para medir volúmenes finales) (Figura 1).



**Figura 1.** Equipamiento básico para la generación de gases. El balón puede ser reemplazado por un tubo o erlenmeyer. El tubo de desprendimiento puede conectarse a diferentes tubos de ensayo para realizar las caracterizaciones correspondientes.

### **Parte B. Simulación de lluvia ácida.**

Materiales: 1 pecera, 1 vaso de precipitados de 100 mL, 1 placa de calentamiento eléctrica, 2 cajas Petri de 50 mL, 3 trípodes metálicos, 3 telas de amianto, 1 cápsula de porcelana, 1 franela, guantes descartables, hielo, indicadores ácido-base.



**Figura 2.** Esquema del equipo para simular lluvia ácida. En la cápsula de porcelana se calienta el S sólido. En las cápsulas de Petri, los diferentes indicadores. Se introduce un vaso de precipitados con agua hirviendo al comienzo de la reacción de calentamiento del S.

### **SEGURIDAD**

En los procedimientos a realizar se usan diferentes productos químicos. Muchos de ellos son tóxicos, y muchos son corrosivos. Los gases producidos a menudo son tóxicos y nocivos. Si carece de campana extractora para realizar las experiencias, debe realizar la experiencia a microescala, teniendo presente que algunos gases propuestos no deben trabajarse, si no se cuenta con campana. No es suficiente el trabajo en un ambiente ventilado. Conviene siempre: (i) realizar una estimación previa del volumen del gas a obtener, (ii) recoger siempre los gases obtenidos en solución acuosa alcalina dado que la mayoría de ellos se disuelve y/o reacciona en hidróxido, quedando atrapado en dicha solución (procedimiento similar al utilizado en la industria con los gases contaminantes subproductos de reacción). Utilice anteojos de seguridad y delantal.

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **A) Generación de gases**

Se diseña una práctica sencilla, la que mediante el uso de un único equipamiento, ácidos, trozos de metales y sustancias de fácil acceso, comunes en un laboratorio químico, permite la obtención de diferentes tipos de gases:



En el caso de los cuatro primeros se utiliza ácido clorhídrico con: mármol, dióxido de manganeso, trozos de Zn y pirita, respectivamente. Con ácido sulfúrico podrán obtenerse los dos gases siguientes usando cloruro de sodio (HCl) y trozos de cobre (SO<sub>2</sub>). Con ácido nítrico diluido y concentrado y trozos de cobre, los óxidos de nitrógeno y con dióxido de manganeso y agua oxigenada, se observa el desprendimiento de oxígeno. En la Tabla se esquematiza cada una de las reacciones para la obtención de gases. Asimismo, se sugieren diversas reacciones de caracterización para los mismos.

**Tabla.** Reacciones de obtención de diferentes gases. Reacciones sugeridas de caracterización de los mismos. En negrita y subrayado se observan las sustancias gaseosas en condiciones normales de presión y temperatura.

Esquema de reacciones	Caracterización
a- $\text{CaCO}_3 + 2 \text{HCl} \rightarrow \underline{\text{CO}_2} + \text{CaCl}_2$	$\underline{\text{CO}_2} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_3\text{H}^- + \text{H}^+$ Reacción ácida en papel tornasol
b- $\text{MnO}_2 + 4 \text{HCl} \rightarrow \underline{\text{Cl}_2} + \text{MnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$\underline{\text{Cl}_2} + 2 \text{KI} \rightarrow \text{I}_2 + 2 \text{KCl}$ (observar color azul en almidón)
c- $\text{Zn} + 2 \text{HCl} \rightarrow \underline{\text{H}_2} + \text{ZnCl}_2$	$2 \underline{\text{H}_2} + \underline{\text{SO}_2} \text{ (de f-)} \rightarrow \text{S} \downarrow + 2 \text{H}_2\text{O}$ Presencia de precipitado amarillo
d- $\text{FeS} + 2 \text{HCl} \rightarrow 2 \underline{\text{SH}_2} + \text{FeCl}_2$	Opcional. Extremadamente tóxico (casi como cianuro de hidrógeno), de olor repulsivo.
e- $2 \text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \underline{\text{HCl}} + \text{Na}_2\text{SO}_4$	$\underline{\text{HCl}} + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{AgCl} \downarrow + \text{HNO}_3$
f- $\text{Cu} + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \underline{\text{SO}_2} + \text{CuSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$	Igual que c- Ver lluvia ácida.
g- $3 \text{Cu} + 8 \text{HNO}_3 \text{ (d)} \rightarrow 2 \underline{\text{NO}} + 3 \text{Cu(NO}_3)_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$	$2 \underline{\text{NO}} + \underline{\text{O}_2} \rightarrow 2 \underline{\text{NO}_2}$ Observar <b>burbujeo del gas</b> y el cambio de color (de gas incoloro a gas pardo).
h- $\text{Cu} + 4 \text{HNO}_3 \text{ (c)} \rightarrow 2 \underline{\text{NO}_2} + \text{Cu(NO}_3)_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	$2 \underline{\text{NO}_2} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- + 2 \text{H}^+$ Reacción ácida en papel tornasol (responsable de la lluvia ácida)
i- $\text{MnO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \underline{\text{O}_2} + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{MnO}_2$	Igual que g- Observar las burbujas que se desprenden

## Reacciones de caracterización

### a- Dióxido de carbono

El tubo de desprendimiento se sumerge en agua destilada con gotas de indicador para detectar el pH de la solución. Esta reacción ocurre lentamente en el agua del bidón por disolución del CO<sub>2</sub> atmosférico. La enzima anhidrasa carbónica cataliza un millón de veces esta reacción en los seres vivos.

### b- Cloro

Desplazamiento de halógenos. Burbujear el cloro obtenido en un tubo de ensayo sobre 2ml de solución de yoduro de potasio al 5 %. Agregar una gota de solución de engrudo de almidón para poner en evidencia la eventual presencia de yodo elemental. A medida

que descendemos en el grupo de los halógenos, el halógeno de menor peso molecular tiene un poder oxidante mayor que el de mayor peso molecular. El yodo formado en presencia de un exceso de yoduro dará el complejo triyoduro ( $I_3^-$ ) que se intercalará en la hélice del almidón generando un complejo de color azul. Si la cantidad de yodo generado es excesiva se puede observar una coloración marrón y aún negra, en ese caso proceder a diluir la suspensión.

#### **c- Hidrógeno**

Se hace burbujear el dióxido de azufre obtenido en f- en un tubo de ensayo que contiene una mezcla reaccionante de zinc y ácido clorhídrico. Observar la precipitación de azufre.

Con sumo cuidado (realizado por el profesor) se recoge el hidrógeno generado en un globo. Se ata con un hilo (el globo se eleva con el hidrógeno) y se enciende la parte superior con una varilla sostenida por una vela: observar la combustión del hidrógeno, reacción que está dando lugar a los combustibles alternativos.

#### **d- Sulfuro de hidrógeno**

Al burbujear sulfuro de hidrógeno gaseoso en agua, se disocia parcialmente obteniendo ácido sulfhídrico, el que se emplea para precipitar los cationes de metales pesados (de alta densidad) como Hg, Pb y Cd.

#### **e- Cloruro de hidrógeno**

Dejar actuar el gas producido sobre un papel indicador húmedo.

Burbujear el gas sobre un tubo de ensayo conteniendo una solución de AgCl al 1%. Observar el precipitado blanco obtenido.

#### **f- Dióxido de azufre**

Se caracteriza por la reacción con hidrógeno gaseoso (c-).

En un tubo de ensayo hacer burbujear  $SO_2$  en solución 1M de carbonato de sodio durante algunos minutos. Observar la formación de la disolución de sulfito de sodio. Acidificar una pequeña porción de la solución obtenida. Interpretar la evolución de dióxido de azufre gaseoso con la correspondiente ecuación.

#### **g- Oxido nítrico**

Colocar en el cristizador que contiene agua un indicador ácido. Observar que no cambia el color cuando burbujea el NO. Insuflar aire en la probeta invertida mediante una perilla. Observar el color del gas (pardo por la formación de  $NO_2$ ) y el color del indicador ácido.

#### **h- Dióxido de nitrógeno**

Observar el color y repetir el ensayo de g- burbujeando el gas obtenido en agua destilada con gotas de indicador ácido (por ejemplo, azul de bromotimol). Relacionarlo con la formación de la lluvia ácida.

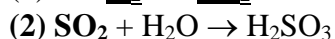
#### **i- Oxígeno**

La descomposición del peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno es una reacción que ocurre lentamente. Se puede acelerar con un catalizador químico como  $MnO_2$ . La velocidad de la reacción de descomposición es todavía más rápida si se agrega un catalizador biológico como la catalasa (contenida en sangre). Esta reacción por lo tanto se puede ensayar agregando gotas de sangre bovina sobre el peróxido de hidrógeno.

Puede determinarse la concentración del oxígeno activo en el peróxido de hidrógeno: se coloca dióxido de manganeso 0,3 g en 0,5 ml de agua en el balón, se agrega agua oxigenada rápidamente, cerrando tubo por donde se agregó rápidamente (puede reemplazarse dicho tubo por una jeringa con la aguja atravesando el tapón del balón). Se agita hasta que cese el desprendimiento de oxígeno y su volumen se mide en la probeta graduada. Se expresa la concentración del peróxido de hidrógeno en volúmenes de oxígeno.

## B) Simulación de la lluvia ácida

El hombre, a través de sus actividades perturba el medio ambiente e interfiere con la precipitación con el vertido de contaminantes a la atmósfera. De acuerdo con la reacción a- (Tabla) se observa que en sitios no contaminados, la lluvia es ligeramente ácida, con un pH entre 5.6 y 6.5, por formación natural de ácido carbónico, que es un ácido débil, junto con emanaciones volcánicas. Cuando las centrales eléctricas queman combustibles fósiles para generar electricidad emiten gases dañinos que contienen dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, contaminando el aire. El agua precipitada aumenta la acidez y en lugares altamente contaminados se han llegado a detectar niveles de pH inferiores a 3. Las reacciones demostrativas de este fenómeno corresponden a f-, g-, h- y sus caracterizaciones. Las reacciones que se simulan en este ensayo particular son:



La simulación de la lluvia ácida se llevará a cabo mediante el siguiente procedimiento (Ruiz Loyola et al., 1997) utilizando el equipo que se muestra en la Figura 2.

### Preparación

- (i) Se coloca en un vaso de precipitado unos 100 mL de agua destilada y se prepara para calentar (placa de calentamiento y/o mechero, placa y trípode).
- (ii) Se llenan a la mitad las cajas Petri y se les añade un indicador a cada una, observándose el color de la disolución; se colocan a los lados de la mesada, apoyadas sobre los trípodes y las telas de amianto.
- (iii) Se coloca azufre en polvo en una placa de porcelana sobre placa de calentamiento y/o mechero, placa y trípode.
- (iv) Se cubre todo con una pecera invertida.

### Procedimiento

- (v) Proceder a la generación de vapor de agua mediante calentamiento a ebullición del vaso de precipitado con agua.
- (vi) Calentar el azufre sólido el que generará dióxido de azufre. El azufre comienza a reaccionar con el oxígeno para producir dióxido de azufre (ecuación (1)), el cual se combina con el vapor de agua (ecuación (2) y (3)) y, al condensarse en el techo de la pecera, comienza a gotear dentro de ella.

- (vii) Una vez que se genera la nube de vapores, se coloca por afuera y por encima de la pecera sobre una franela cubos de hielo de forma que cubran la superficie externa. De esta manera el dióxido de azufre se combina con el vapor de agua y, al condensarse en el techo de la pecera, comienza a gotear dentro de ella. Al comenzar la caída de las gotas que simula la lluvia, se desconecta el calentamiento.
- (viii) Se esperan unos dos o tres minutos y se retira la franela con el resto de hielo; utilizando guantes, se levanta con mucho cuidado la pecera, teniendo la precaución de no respirar los vapores, y se deja circular aire por unos dos minutos. Pasado ese tiempo, se observa la coloración en las cajas Petri y justifican los cambios.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

**Cotton, F.A. & Wilkinson, G.**, (1999). *Química Inorgánica Básica*, Limusa, Méjico.

**Brauer, G.** (1958) *Química Inorgánica Preparativa*, Reverté (Ed), Barcelona.

**Rayner-Canham, G.** (2000) *Química Inorgánica Descriptiva*, 2ª. Edición, Prentice-Hall, México.

**Chang, L.**, (1992) *Química*, Mc Graw Hill, Méjico.

**Ruiz Loyola, B.; García González, G.; Ramírez Montes de Oca, P.; Tsumura García, R.; Segura, D.** (1997) *Educ. Quím.* 8168-8170.

Este trabajo se presentó parcialmente en forma de exposición oral en las **VIII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Química, XIV Reunión de Educadores de la Química**, Olavarría, Argentina, mayo 2008.

## ***De interés***

### **PILAS Y BATERÍAS. UNA FORMA DE ACERCAR LA QUÍMICA A LA COMUNIDAD**

**Marisa S. Bais, Antonio F. Asteasuain y Mirta R. Barbosa**

Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Olavaria. Argentina.  
mbarbosa@fio.unicen.edu.ar

#### **Resumen**

El empleo de pilas y baterías está muy difundido en la sociedad moderna. En general, los usuarios saben que estos elementos pueden producir daños ecológicos, pero desconocen las pautas para distinguir entre los productos comerciales. En la medida que los consumidores conozcan que pilas son nocivas y cuales prácticamente inocuas realizarán un consumo criterioso.

En este trabajo se presenta una forma de llegar a la comunidad de manera sencilla para mostrar que las pilas son unidades convertidoras de energía química en energía eléctrica, tratando de generar conciencia acerca de los riesgos que un inadecuado uso de los materiales y su combinación, pueden generar al medio ambiente.

La discusión del tema conduce a la conclusión de que no todas las pilas generan las mismas reacciones químicas, en consecuencia, no todas contaminan de la misma manera. De allí la importancia de conocerlas y consumir las que menor daño producen al medio ambiente.

**Palabras clave:** Pilas, baterías, contaminación ambiental, energía química.

#### **Abstract**

The use of batteries is very common in modern societies. People know that this kind of devices can produce ecological damage, but they do not know which the rules are, so they cannot establish the differences among the commercial products. When users can recognize which batteries are harmful and which ones are practically innocuous, they become consumers with good criterion.

In this work, we report a simple way in which society can approach to information that shows the way in which batteries convert chemical energy into electrical energy. In parallel, we try to inform about the risk of an inadequate use of dangerous material as well as their combinations - and the effect in the environment.

The discussion leads to the following conclusion: Each type of battery generates a different chemical reaction; accordingly, each of them makes its own contamination. Based on the previous sentence, it is very important to know them and consume the least dangerous.

**Key words:** batteries, contamination, chemical energy.

## **INTRODUCCIÓN**

La mayoría de los integrantes de la sociedad empleamos pilas y baterías en un gran número de artefactos que nos proveen de una vida más confortable. Sin embargo sólo una proporción pequeña de la comunidad tiene clara idea de que la energía que proporcionan las pilas y que tan cómoda nos resulta, proviene de reacciones químicas.

Obviamente, para la sociedad no es una cuestión trascendental conocer el origen de tal energía, pero sin duda resulta interesante para los que somos docentes de la disciplina mostrar a la comunidad en general que la química está presente en gran parte de los eventos de la vida cotidiana y que no es una entelequia a la cual solamente tiene acceso cierta elite. Esta postura constituye una estrategia que no sólo permite desmitificar a la

química, sino también hacerla accesible al público general y, en consecuencia, que todo lo relacionado con esta ciencia sea mirado con mayor interés y simpatía por parte del mismo.

Por otra parte, la enorme variedad de pilas y baterías ofrecidas en el mercado suele conducir a la confusión del usuario que no dispone de las pautas básicas para diferenciar entre los productos que se le ofrecen. En la medida que se logre el entendimiento sobre que sustancias contenidas en las pilas son nocivas y cuales prácticamente inocuas, el público contará con un criterio para un consumo menos agresivo para el medio. El tratamiento de pilas y baterías muestra claramente que el deterioro que producen en el medio ambiente ocurre a través de combinaciones químicas.

En este trabajo se presenta una forma de llegar a la comunidad de una manera sencilla para mostrar que las pilas son unidades convertidoras de energía química en energía eléctrica. A la vez se trata de concienciar a la sociedad sobre los riesgos que un inadecuado uso de los materiales y su combinación pueden generar al medio ambiente.

## **DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES**

Un grupo de docentes de la Facultad de Ingeniería de la UNCPBA, como parte de la actividad de extensión de la institución, ofrecemos conferencias y organizamos talleres que se realizan en establecimientos de enseñanza de nivel primario, secundario y terciario, como así también en ONGs, adecuando la oferta educativa a la formación del público asistente.

Se trata de realizar una actividad durante la cual se intercambian ideas, guiadas por el docente responsable, de modo de hacerla amena pero sin perder la organización y conduciéndola por el camino deseado. Así es que durante el desarrollo se hacen preguntas a los participantes para, a través de las mismas, determinar su conocimiento del tema.

Después de definir que es una pila y que una batería no es mas que un conjunto de pilas que pueden disponerse de forma paralela o en serie (siempre teniendo en cuenta el nivel de formación de la audiencia), repasamos qué objetos de la vida cotidiana funcionan a pila: desde aparatos y sistemas muy importantes como satélites, equipos médicos ambulantes, audífonos, equipos de comunicación, herramientas; otros de importancia relativamente menor, como pueden ser radios, equipos de música, relojes, alarmas, afeitadoras, cámaras fotográficas, filmadoras, hasta los que no tienen demasiado sentido práctico, como cepillos de dientes, batidores de café, etc., pues pueden sustituirse perfectamente por sistemas manuales.

### **Clasificación**

Cuando se solicita a los participantes que indiquen una clasificación de las pilas, en general, responden haciéndolo por la forma: cilíndrica, botón, paralelepípedica (“cuadradas” en la jerga popular). A partir de ese disparador de la discusión se va incorporando la idea de que la pila depende fundamentalmente de “lo que tiene y lo que ocurre adentro” y, en consecuencia, esa es la diferencia más importante que debemos tener en cuenta.

Se introducen los conceptos de pilas primarias y secundarias, relacionándolo con la posibilidad de carga y descarga y su interpretación a través de las reacciones químicas, lo que permite justificar las ventajas que las pilas recargables presentan sobre las desechables luego de la primera descarga.

La tabla 1 muestra una clasificación de los tipos más importantes y comercialmente difundidos de pilas y baterías.



**Tabla 1: Electrodo y electrolitos de las pilas y baterías primarias y secundarias más difundidas comercialmente.**

PRIMARIAS → No permiten su recarga				
Tipo	Electrodos		Electrolito	Peligros
	Negativo	Positivo		
Cinc - carbono (salinas)	Cinc	Dióxido de manganeso	Cloruro de amonio	Agregado de mercurio, plomo y cadmio.
Alcalinas	Cinc	Dióxido de manganeso	Hidróxido de potasio	Agregado de mercurio, plomo y cadmio
Óxido de mercurio	Cinc	Óxido de mercurio	Hidróxido de potasio	Contienen 30% de su peso en mercurio
Óxido de plata	Cinc	Óxido de plata	Hidróxido de potasio	Contienen 1% de su peso en mercurio
Cinc - aire	Cinc	Aire	Cloruro de amonio y cloruro de manganeso	Contienen entre el 1 y el 4% de su peso en mercurio
Litio	Litio	Óxidos, sales metálicas, agentes oxidantes: CuO, CuS, Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> , PbI <sub>2</sub> , Ioduro de polivinilperidina	Cloruro de amonio y cloruro de manganeso	Una vez desechadas, cuando se humedecen generan hidrógeno, pudiendo producir explosiones
SECUNDARIAS → Los procesos de carga y descarga pueden repetirse un gran número de veces mediante el suministro de electricidad				
Tipo	Electrodos		Electrolito	Peligros
Níquel - Cadmio	Cadmio metálico	Hidróxido de níquel	Hidróxido de potasio	Contienen entre un 10 y 18% de cadmio
Níquel - Metal Hidruro	Hidruro metálico	Hidróxido de níquel	Hidróxido de potasio	
Ion litio	Óxido de litio y cobalto (LiCoO <sub>2</sub> ), Óxido de manganeso y litio (LiMn <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ),	Grafito	Solventes orgánicos líquidos que contienen sales de litio. Polímeros	La tecnología de este tipo de baterías se encuentra en desarrollo

	Óxido de níquel y litio (LiNiO <sub>2</sub> ).		conductores sólidos	
--	--	--	---------------------	--

### **Daños Producidos por los Contaminantes**

La charla o el taller se apoyan permanentemente en un amplio muestrario de pilas y baterías de diferentes tipos, formas y marcas. El muestrario contribuye a demostrar que muchas veces los productos de mala calidad presentan un aspecto muy parecido a los de primera marca, como una forma engañosa para el comprador.

Se explica que el concepto de “mala calidad” para una pila no necesariamente se relaciona con su capacidad de entregar energía (objetivo principal de la pila) sino que el problema radica en los elementos adicionales que fueron agregados para lograr un rendimiento energético equivalente con menor costo. De este modo desembocamos en los materiales que la componen y su capacidad de provocar daño al medio ambiente y a los seres humanos.

Lo explicado hasta el momento muestra que hay un gran número de materiales que constituyen las pilas, entre ellos algunos muy peligrosos, pero su concentración no es suficiente como para producir problemas ecológicos. En este sentido los de verdadero riesgo son: mercurio, litio, cadmio y plomo. Estos agentes contaminantes dañan todos los tejidos orgánicos.

El mercurio en particular tiene efecto acumulativo y su toxicidad depende del estado físico y químico del elemento. La ingestión produce efectos crónicos, tales como eretismo: severos disturbios nerviosos incluyendo temblor de manos, insomnio, pérdida de memoria, irritabilidad y depresión, perturbación emocional y mental. Dolor de encías con pérdida de dientes y excesiva salivación. Daño en el hígado, náuseas, dolor abdominal, vómitos diarreas, sordera, pérdidas de visión, incoordinación de músculos y dolor de cabeza. El daño en riñones se produce en casos de intoxicación severa, en especial con cloruro mercúrico, afectando su función de filtro.

La exposición durante el embarazo es altamente preocupante, debido a que puede dañar el desarrollo del cerebro del feto. Afecta los cromosomas y puede causar mongolismo.

La acumulación de cadmio en el organismo produce efectos irreversibles. Causa hipertensión arterial y anemia. Si se lo ingiere genera problemas estomacales e intestinales, diarreas, dolor de estómago y vómitos severos. Fractura de huesos Fallos en la reproducción e inclusive posibilidad de infertilidad. Daña el sistema nervioso central y el sistema inmunológico, puede provocar desordenes psicológicos. Posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer. Las sales de cadmio son tóxicas por inhalación, contacto con la piel e ingestión. La inhalación de polvo (metal u óxido) irrita los pulmones, causa sofocación y una exposición prolongada los daña irreversiblemente. La vida media del cadmio en riñones es de 10 a 40 años, por lo que la ingestión de este metal, afectará el contenido de cadmio en riñones durante gran parte de la vida.

El litio metálico reacciona con el nitrógeno, el oxígeno, y el vapor de agua en el aire. Consecuentemente, la superficie del litio se recubre de una mezcla de hidróxido de litio (LiOH), carbonato de litio (Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), y nitrato de litio (Li<sub>3</sub>N). El hidróxido de litio representa un peligro potencialmente significativo porque es extremadamente corrosivo. Este compuesto irrita la piel, las mucosas y puede causar llagas, quemaduras cutáneas, dolor y ampollas. Cuando el litio se calienta se forman vapores tóxicos. En el sistema respiratorio produce sensación de quemadura, tos, respiración trabajosa, falta de aire, dolor de garganta. Su ingestión puede producir calambres abdominales, dolor abdominal, sensación de quemadura, náuseas, vómitos y debilidad. Es altamente

reactivo, en ambientes húmedos puede conducir a la formación de hidrógeno, que a su vez, puede provocar explosiones. Esto genera riesgo de incendio y explosión en contacto con sustancias combustibles y agua. La reacción del litio metálico con agua es en extremo vigorosa. El litio reacciona en forma directa con el carbono para producir el carburo. Puede arder espontáneamente en contacto con el aire cuando se dispersa en finas partículas. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, ácidos y muchos compuestos (hidrocarburos, halógenos, halones, cemento, arena y asbestos) provocando peligro de incendio y explosión.

El plomo puede causar varios efectos no deseados, como son perturbaciones de la biosíntesis de hemoglobina y anemia, incremento de la presión sanguínea y daño a los riñones. Gastritis, acidez o pesadez estomacal y estreñimiento. Problemas en la audición y el equilibrio. Daño al cerebro y al sistema nervioso. Disminución de la fertilidad y debilitamiento del tejido óseo, dolores musculares y en articulaciones. Problemas de aprendizaje de los niños y alteraciones en el comportamiento tales como agresividad e hipersensibilidad. Retraso en el crecimiento, deficiencias de lenguaje y memoria, problemas de conducta y de audición

Teniendo en cuenta que en nuestro país no se fabrican pilas, se incursiona en la importancia de los controles de importación. Se indica especialmente leer las etiquetas y desarrollar la costumbre de hacer comparaciones entre los productos. El muestrario de pilas incentiva la memoria visual contribuyendo con este objetivo.

Por otra parte, se aprovechan los encuentros para realizar una encuesta a través de la cual se solicita información sobre clase y cantidad de pilas y baterías que se consumen y en que tipo de dispositivo. Se requiere también sobre el nivel de educación alcanzado por los integrantes del grupo familiar y se les pregunta si estarían dispuestos a participar de un programa amplio para minimizar los riesgos de la contaminación provocada por pilas y baterías. Para contribuir a la difusión se entrega la encuesta a los presentes para que las lleven a sus hogares, de modo de incentivar la discusión sobre el tema en el seno de sus familias.

### **¿Qué hacer?**

Hasta el momento hemos tomado conocimiento de los tipos de pilas y los daños que pueden ocasionar. Ahora bien, como podemos protegernos frente al mismo. Lo ideal sería recuperar todos los materiales que constituyen las pilas, pero este proceso no es viable en nuestro país por no ser rentable para las empresas privadas y por otra parte, no existe una política del Estado en este sentido. El motivo del alto costo está relacionado con la gran variedad de pilas existentes, por lo que cada uno de esos tipos exigiría un proceso específico a ser aplicado sobre un volumen relativamente reducido de materia prima.

Ante la inviabilidad del camino anterior, lo indicado es desechar las baterías no peligrosas con los residuos domiciliarios y procesar solo aquellas cuya potencial contaminación las transforma en un verdadero peligro ecológico. Obviamente para que el consumidor pueda colaborar en esta tarea debe estar adecuadamente informado.

Es en este sentido en el que nuestro proyecto puede colaborar. A tal efecto podemos establecer algunas recomendaciones básicas que pueden ayudarnos a minimizar la contaminación.

- Gastemos menos pilas: si el aparato puede ser conectado a un tomacorriente, optemos por esa modalidad.

Si vamos a comprar una calculadora o reloj recordemos que existen las que funcionan con energía solar, y hay relojes que funcionan con nuestro pulso.

- Si es necesario usar pilas botón, evitemos las que contengan mercurio. Cuando sea posible sustituyámosla por otras.
- Usar pilas recargables de marcas de reconocida calidad y larga duración, que tengan impresa la leyenda libre de mercurio. El costo inicial de las pilas y baterías recargables es más alto, pero a la larga son más baratas, ya que pueden usarse por largo tiempo. Hay que agregar al costo de las mismas el precio del cargador, pero no significa una gran erogación, este aparato universal sirve para cualquier tipo de pilas y baterías, y su costo se amortiza rápidamente. Para recargar se tarda de 3 a 6 horas y no es necesaria ninguna capacitación para usarlo.
- Si usamos pilas recargables, especialmente las de níquel-cadmio, deben recargarse cuando estén absolutamente descargadas y recién cargarlas por completo. Especialmente la primera vez que se descargan. De este modo se prolonga la vida útil de la batería.
- No intentemos cargar las pilas que no sean recargables. No sólo no da resultado, sino que puede originarse una explosión.
- Nunca utilicemos mezcladas pilas nuevas con usadas. No se logrará más que reducir la vida útil de ambas.
- Mantener limpios los contactos de las pilas y de los aparatos.
- Retirar las pilas de los aparatos cuando no se utilicen por mucho tiempo.
- Seamos muy cuidadosos para desechar las pilas y baterías:
  - No arrojemos las pilas a los cursos de agua.
  - No las quememos. Esto puede tener un efecto nocivo inmediato para la salud, dado que desprenden vapores tóxicos.
  - No las amontonemos. Hay que ir deshaciéndose de ellas poco a poco.

## **OTROS ASPECTOS QUE SE ABORDAN**

De acuerdo a la formación e interés del público se presentan y discuten diversos aspectos del tema. Entre los más frecuentes se encuentran los que se detallan a continuación.

### **Entes que intervienen en la cadena de manejo de pilas.**

Fabricantes, importadores, distribuidores (mayoristas y minoristas) representan las etapas previas a la llegada al consumo final por las que pasan las pilas y baterías. Los consumidores pueden ser individuales o institucionales (privados o gubernamentales). Cada eslabón de la cadena tiene responsabilidades inherentes a su función. Es razonable suponer que los pasos previos a los consumidores cuentan con el conocimiento profesional para adoptar las conductas pertinentes. En el caso de los consumidores es necesario que las instituciones educativas contribuyamos a la formación necesaria, para que el comportamiento de cada individuo contribuya al bien común. Adicionalmente, un factor importante es el correspondiente a los fabricantes, importadores y distribuidores de aparatos que lleven incorporadas, para su funcionamiento, pilas y baterías.

### **Legislación en Argentina y en otros países.**

En Argentina, hasta el año 2007 no había legislación específica en vigencia en el territorio nacional, legalmente se encuadraba a las pilas y baterías en el marco de la Ley Nacional de Residuos Peligrosos, N° 24.051. Resolución 544/94. En 2007 se sancionó

la ley 26.184 que establece la normativa para la importación de pilas y baterías, pero que no contempla la regulación para la disposición final de los residuos.

Durante los años 2000 y 2001, la Cámara de diputados de la Provincia de Buenos Aires discutió un proyecto de ley más abarcativo que contemplaba aspectos como la identificación en el envase para el consumidor, las responsabilidades en la cadena de retornabilidad, el consumo institucional, el rol de los organismos de aplicación (municipalidades), la educación e información, el fomento a la investigación y el régimen de sanciones. Sin embargo, la ley aún no ha sido sancionada. Ha habido proyectos iniciados en los años 1993, 1994 y 1996 que se han utilizado como precedentes.

En los países desarrollados se han promulgado leyes que regulan la fabricación, comercialización y disposición final de pilas y baterías.

En Alemania, desde octubre de 1998 se recogen todas las baterías. Se establecen las obligaciones del usuario, se regulan especialmente las de automóvil y se identifican las nocivas. Los puestos de venta deben exponer indicaciones para la devolución de los productos y el significado de los símbolos de identificación.

En Bélgica, en marzo de 1996 se promulgó una ley que aplica un “ecotax” por cada batería, independientemente del tamaño y el sistema químico.

Una excepción a este impuesto es garantizada si se suministran las baterías a un esquema de depósito y el fabricante participa en un sistema de recolección “voluntaria”. La ley establece la obligación de recolectar un porcentaje del número total de las baterías consumidas anualmente y la del comerciante de informar al usuario. Se construyó un sistema de recolección y reciclado, cuyo costo se transfirió al consumidor en forma de impuesto.

En Francia, en mayo de 1999 se estableció la normativa relacionada a la comercialización de baterías y disposición de las mismas al término de su vida útil. Se contemplan las obligaciones de distribuidores en la recolección y las de los fabricantes e importadores en el reciclado.

En Holanda, en 1995 el gobierno estableció un decreto real para prevenir la contaminación ambiental producida por pilas y baterías al fin de su vida útil, para promover la reutilización de los materiales básicos y para impedir que las baterías sean descartadas con los residuos domiciliarios. Se establecen la responsabilidad de los productores, el porcentaje de recolección de las baterías y las formas de financiamiento del proceso de recolección, clasificación, transporte y reciclado.

En Estados Unidos, desde mayo de 1996, solo se puede vender, ofrecer o promocionar baterías de mercurio en lugares que tienen autorización federal, estatal y local para garantizar el posterior reciclado y disposición final con los residuos domiciliarios. La normativa especifica la obligación en las leyendas de las etiquetas en cuanto al contenido y disposición final.

### **Características que deben llevar las pilas o los envases de las mismas.**

Como se ha mencionado, es fundamental que el usuario tenga un conocimiento básico sobre el tema que le permita discernir entre las pilas de baja peligrosidad y las verdaderamente dañinas. Pero obviamente, para que pueda realizar una buena contribución debe disponer de la información. En consecuencia, las etiquetas de los productos deben incluir una reseña de las características generales y particulares. Básicamente debe indicarse si contiene elementos como mercurio, cadmio, litio, etc., si es recargable o no lo es. Además y en todos los casos, indicaciones generales como la de no arrojar al fuego ni al agua. En el caso de las de litio evitar humedad o condensación.

### **Intentos de soluciones prácticas en Argentina**

Las vías más frecuentes que se han intentado en Argentina han sido fomentadas por municipios (por ejemplo las municipalidades de Mendoza, de General Roca en Río Negro, del Partido de General Pueyrredón, etc.) en el sentido de recolección de pilas para una posterior inmovilización en bloques de hormigón o en repositorios especialmente preparados, contruidos de hormigón, con membranas de polietileno de alta densidad. Las pilas se incluyen en bolsas estabilizadas en masa de hormigón.

La explicada en el párrafo anterior no resulta la mejor solución, debido a que es difícil asegurar una construcción que en la práctica resulte realmente efectiva para evitar la lixiviación de los materiales nocivos que seguramente ocurrirá en un periodo mas o menos largo, máxime teniendo en cuenta que el hormigón es un material poroso. A nivel de investigación se han hecho algunas pruebas de oclusión de pilas en material vítreo (Programa San Carlos de Bariloche, en marzo de 1999); sin embargo en la actualidad esta alternativa resulta inviable por los excesivos costos.

Han existido iniciativas puntuales para el envío de los residuos a países con capacidad para la recuperación de los materiales, sin embargo esta alternativa resulta onerosa y no ha recibido el apoyo estatal.

La recuperación de los materiales de las baterías plomo-ácido se realiza en nuestro país, en parte porque el volumen involucrado es importante y también porque hace mucho tiempo que se las emplea, fundamentalmente en la industria automotriz.

En el año 2000, por iniciativa de una empresa de telefonía, se hizo una recolección de baterías níquel-cadmio, empleadas fundamentalmente en telefonía celular, y se recuperaron los metales. Lamentablemente esa experiencia no se ha repetido en forma sistemática.

### **Situación actual y perspectivas.**

Los altos costos que involucra el tratamiento adecuado de los desechos de pilas y baterías crearon cierta confusión a nivel mundial hasta principio de 2000. En Europa había propuestas no coordinadas, a veces con la sobreactuación de algunos gobiernos y la falta de soluciones convincentes.

Desde 2000-2001 se ha progresado notablemente, dirigiendo la acción, fundamentalmente, hacia nuevas tecnologías no contaminantes. Por disposición de la EPBA (European Portable Battery Association) ya no se pueden fabricar baterías con Hg adicionado en ningún país de la Unión Europea, desde 1993, pero todavía hay en el mercado baterías conteniendo Hg. La EBRA (European Battery Recycling Association) tiende a armonizar la legislación existente entre los diferentes países.

La tendencia actual consiste en perfeccionar la tecnología de baterías no contaminantes, además el reciclado se realizará en conjunto con desechos electrónicos

### **Criterios tomados en las campañas de educación y concienciación.**

Existen muchos proyectos del tipo del que llevamos adelante como tarea de extensión en nuestra Facultad. Todos ellos con enfoques más o menos parecidos tienden a informar a la población. Algunas veces, como en nuestro caso y cuando el auditorio lo permite, apoyándonos en los conceptos que la química nos brinda; en otros casos, simplemente indicando la peligrosidad de modo descriptivo. Los puntos más relevantes de la campaña pueden sintetizarse como:

1. No todas las pilas y baterías son iguales y por lo tanto no todas contaminan de la misma manera. De allí la importancia de conocerlas y consumir las que menor daño produzcan al medio ambiente.

2. La ventaja de utilizar las baterías recargables aunque su costo inicial sea mayor. Se pone énfasis en lo sencillo que es el proceso de recarga y de que forma debe hacerse para lograr una mayor vida útil de las baterías recargables
3. La ventaja de hacer un uso racional de pilas y baterías, como conservarlas y como ir deshaciéndose de ellas hasta que exista un plan seguro de recolección, clasificación y reciclado o disposición final.

### **Datos de consumo en Argentina y en el mundo.**

El consumo de baterías en el mundo se incrementa. En Europa se consumen más de cinco billones por año, de las cuales se recicla alrededor de un 20%, lo que equivale a unas 30000 toneladas. La meta de la Unión Europea es llegar al 75% de reciclado.

En Francia se utilizan más de 750 millones de baterías, de las cuales 85 millones son de tipo botón, entre las cuales aproximadamente hay 1% son de óxido de mercurio, 40% de óxido de plata, 40% de Zn-Aire y 15% de litio. Unos 635 millones de baterías primarias, de las cuales 33% son de Zn-carbón y 67% alcalinas de MgO. De las baterías recargables, unas 2000 ton, entre las de Ni-Cd, Ni-MH e Ion litio. Las baterías plomo ácido anuales constituyen unas 2500 toneladas.

En Holanda se comprobó que el 0.0223% de los residuos domiciliarios, unas 850 ton, corresponden a baterías, de las cuales 95% son primarias y 5% secundarias.

En Japón el consumo de pilas Ni-Cd bajó de 1994 a 1998 desde el 82% al 39%, el mercado se encuentra dominado por las baterías Ni-MH. Además un 40% son de ion litio.

En Argentina no se cuenta con datos estadísticos a nivel país. Cabe mencionar que los resultados obtenidos a partir del proyecto que se lleva adelante en nuestra Facultad y algunos datos que se han recabado en proyectos similares indican que el mayor consumo es de pilas no altamente contaminantes. Entre un 70 y un 80% se trata de pilas alcalinas de marca conocida.

### **CONCLUSIONES**

La actividad desarrollada en el presente proyecto de extensión ha permitido el acercamiento a la comunidad a través de un tema de interés básicamente ecológico, pero que ha logrado mostrarle de un modo simple, la relación intrínseca existente entre la química y los temas de la vida cotidiana. En términos generales, la población cuenta con una información muy pobre sobre el tema. Sin embargo, es fundamental que la población esté informada, dado que el usuario que conoce los distintos tipos de pilas y baterías, tiene en claro la dificultad de encontrar un medio adecuado para tratar sus residuos, aprende a usar baterías en forma racional.

Durante la discusión del tema, se arriba de manera natural a una de las conclusiones básicas: no todas las pilas y baterías generan las mismas reacciones químicas y por lo tanto, no todas contaminan de la misma manera. De allí la importancia de conocerlas y consumir las que menor daño produzcan al medio. La comprensión de las causas y los mecanismos asociados a ciertas reacciones químicas que pueden provocar un daño irreversible tanto en el medio que nos rodea como en nuestro propio organismo, robustece la idea de protección y autoprotección a través de una adecuada manipulación de los materiales que se involucran y los productos resultantes.

Muchos proyectos denominados de reciclaje de pilas, en realidad no son más que un programa de recolección de pilas, pues se limitan a almacenarlas, posiblemente con la intención de exportarlas o enviarlas a vertederos. La recolección de pilas, cuando no existe un programa de tratamiento o procedimiento de eliminación seguro puede ser un acto irresponsable, pues la concentración de una gran cantidad de pilas supone un mayor potencial de contaminación que el que presentan esas mismas pilas dispersas en el conjunto de los residuos. La mejor alternativa para el tratamiento de los desechos consiste en la recuperación de los materiales y dado que la tecnología de nuestro país no está preparada, una buena solución sería contratar el servicio que pueden prestar países que cuentan con las técnicas desarrolladas.

Es necesario establecer legislación sobre el tema, en este sentido se destaca la importancia del conocimiento de la población, puesto que un ciudadano con la formación adecuada no tendrá dudas en apoyar la normativa específica o desautorizar una medida arbitraria relativa al tema.

La elaboración estadística de la información recabada a través de la encuesta ha permitido conocer que entre un 70% y 80 % de las pilas que se utilizan corresponden a la categoría de las menos contaminantes. La información permitió brindar asesoría a cuerpos legislativos como la Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires y algunos municipios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baird, Colin and Cann, Michael. (2004) *Environmental Chemistry*. 3rd Edition. W. H. Freeman, New York.

Chang, Raymond. (2006) *Conceptos esenciales de química general*. McGraw-Hill, Madrid

Fullea García, José. (1994). *Acumuladores electroquímicos. Fundamentos, nuevos desarrollos y aplicaciones*. McGraw-Hill, Madrid.

[www.epbaeurope.net/recycling.html](http://www.epbaeurope.net/recycling.html)

[www.ebrarecycling.org/](http://www.ebrarecycling.org/)

[www.basel.int/text/con-e.pdf](http://www.basel.int/text/con-e.pdf)



## ***De interés***

### **EL PREMIO NOBEL DE QUÍMICA 2008**

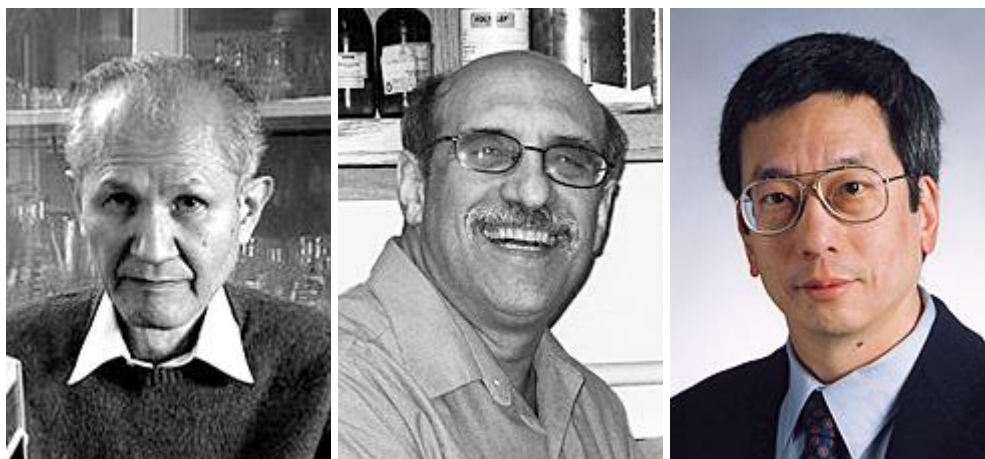
La Real Academia Sueca de Ciencias informó el 8 de octubre de este año que el Premio Nobel en Química para el año 2008 se otorgaba conjuntamente a

**Osamu Shimomura**, Marine Biological Laboratory (MBL), Woods Hole, MA, EE.UU. y Boston University Medical School, MA, EE.UU.,

**Chalfie Martin**, de la Universidad de Columbia, Nueva York, NY, EE.UU. y

**Roger Y. Tsien**, Howard Hughes Medical Institute, University of California, San Diego, La Jolla, CA, EE.UU.

"por el descubrimiento y desarrollo de la proteína verde fluorescente, la GFP".



**Osamu Shimomura**

**Martin Chalfie**

**Roger Y. Tsien**

Los descubrimientos galardonados con el Premio Nobel 2008 de Química son un brillante ejemplo de cómo la investigación fundamental en un área de la ciencia a veces puede conducir a aplicaciones muy beneficiosas en otro. En este caso, encontrar la clave de cómo un organismo marino produce luz terminó inesperadamente proporcionando a los investigadores un poderoso conjunto de herramientas con las que visualizar la biología celular en acción.

La notable y brillante proteína verde fluorescente, GFP, fue observado por primera vez en la hermosa medusa, *Aequorea victoria* en 1962. Desde entonces, esta proteína se ha convertido en una de las más importantes herramientas utilizadas en ciencias biológicas contemporáneas. Con la ayuda de la GFP, los investigadores han desarrollado formas de ver procesos que anteriormente eran invisibles, como el desarrollo de las células nerviosas en el cerebro o la propagación de las células cancerosas.

Decenas de miles de proteínas diferentes residen en un organismo vivo, controlando importantes procesos químicos al detalle. Si esta maquinaria proteica funciona mal, aparece la enfermedad y puede proseguir. Esa es la razón por la que ha sido imprescindible para la biociencia identificar la función de las distintas proteínas en el cuerpo.

Este año el Premio Nobel de Química premia el descubrimiento inicial de la GFP y una serie de importantes acontecimientos que han conducido a su uso como una herramienta de marcado en la biociencia. Mediante el uso de tecnología de ADN, los investigadores pueden ahora conectar la GFP a otras interesantes, pero de otro modo invisibles, proteínas. Este brillante marcador les permite ver los movimientos, las posiciones y las interacciones de las proteínas marcadas.

Los investigadores también pueden seguir el destino de diversas células con la ayuda de la GFP: daños en las células nerviosas durante la enfermedad de Alzheimer o cómo se crean en el páncreas de un embrión en crecimiento las células beta productoras de insulina. En un espectacular experimento, los investigadores lograron el etiquetado de diferentes células nerviosas en el cerebro de un ratón con un caleidoscopio de colores.

La historia detrás del descubrimiento de la GFP tiene a los tres premios Nobel como protagonistas.

Comienza con la investigación de Osamu Shimomura del fenómeno de la bioluminiscencia, en que reacciones químicas dentro de los organismos vivos producen la emisión de luz. Al estudiar una brillante medusa en la década de 1960, aisló una proteína bioluminiscente que emitía luz azul, pese a que las medusas se mostraban verde brillante. Estudios posteriores revelaron que la luz azul emitida por la proteína era absorbida por una segunda proteína de las medusas, más tarde llamado proteína verde fluorescente (GFP), que a su vez re-emitía luz verde. La capacidad de la GFP para procesar la luz azul a verde (su fluorescencia) se encontró que era parte integrante de su estructura, que se producía sin necesidad de ningún factor acompañante.

En 1988, Martin Chalfie oyó hablar por primera vez de la GFP, y comprendió que su capacidad de fluorescencia independiente tal vez podría hacerla una guía celular ideal para los organismos modelo que estaba estudiando. Utilizando técnicas de biología molecular, Chalfie consiguió introducir el gen de la GFP en el ADN del pequeño y casi transparente gusano *C. elegans*. Las células produjeron GFP que emitían su brillo verde sin necesidad de componentes adicionales, y sin causar ningún daño a los gusanos. Trabajos posteriores mostraron que era posible fusionar el gen de la GFP a los genes de otras proteínas, abriendo un mundo de posibilidades para el seguimiento de la localización de proteínas específicas en los organismos vivos.

Las oportunidades ofrecidas por la GFP fueron inmediatamente evidentes para muchos, así como la conveniencia de ampliar la gama de marcadores disponibles. Roger Tsien primero estudió con precisión cómo la estructura de la GFP produce la fluorescencia verde observada y, a continuación, utilizó este conocimiento para modificar esa estructura y producir moléculas que emiten luz en longitudes de onda ligeramente diferentes, lo que dio origen a marcadores de diferentes colores. Con el tiempo, su grupo añadió otras moléculas fluorescentes, obtenidas a partir de otras fuentes naturales, a la colección de marcadores, que sigue ampliándose. Así, ahora es posible etiquetar complejas redes biológicas en una gama de diferentes colores, lo que permite la visualización de una multitud de procesos que anteriormente estaban por completo ocultos a nuestra vista.

*Luz Lastres  
Basado en informaciones publicadas  
por la Nobel Prize Org.*

## ***Un poco de historia***

### **LOS APORTES DE LOS IATROQUÍMICOS A LA ESTRUCTURA ACTUAL DE LA QUÍMICA (Parte 2)**

**Ofelia Dora Galarza**

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. San Fernando del Valle de Catamarca.  
Argentina  
odoragalarza@yahoo.com.ar

#### **Resumen**

En este trabajo se pretende analizar los principios que sustentaron las teorías prevalecientes en los Siglos XV al XVII y considerar la importancia del aporte de los Iatroquímicos a la Química. Para ello se realiza un análisis de las ideas y teorías propuestas por los iatroquímicos y el contexto en el que se desarrollaron. Los resultados obtenidos muestran que los químicos médicos produjeron transformaciones y clasificaciones de sustancias, descubrieron y utilizaron propiedades de sustancias y contribuyeron fuertemente a la decadencia de la veneración de las doctrinas tradicionales y antiguas abriendo una puerta, a la futura química, hacia la búsqueda de su objeto de estudio.

**Palabras Clave:** químicos médicos - teorías – química en siglos XV al XVII

#### **Abstract**

This work intends to analyze the principles that sustained the prevailing theories in the XVth to the XVIIth century and to consider the meaning of the Iatroquímicos contribution to the Chemistry. An analysis of the ideas and theories proposed by the iatroquímicos and the context in which they developed is realized. The obtained results show that the medical chemists produced transformations and classifications of substances, they discovered and used properties of substances and contributed strongly to the decadence of the traditional and ancient doctrines worship, opening a door to the future chemistry, towards the search of his object of study.

**Keywords:** medical chemists - theories – chemistry in XVth to XVIIth century

En este trabajo se considera una categoría de análisis: Etapa de la iatroquímica y tres subcategorías relacionadas con ella: *De las Clasificaciones*; *De las Transformaciones y Propiedades*; *De los Aportes Teóricos*. El análisis de cada una de estas categorías irá guiando al lector por el camino seguido por los iatroquímicos y tratará de desentramar la valiosa información aportada por los hacedores de la química en esta porción de su historia.

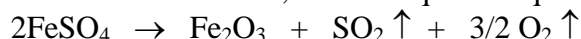
En la primera parte de este trabajo (Galarza, 2008) se presentó la fundamentación y se desarrolló la categoría *De las clasificaciones*. Se completan aquí las otras dos arriba mencionadas.

- ***De las Transformaciones y Propiedades***

Los químicos médicos en su afán por perfeccionar los fármacos empleados en la curación de enfermedades apelaron a las transformaciones de sustancias que involucraron una serie de procesos tanto físicos como químicos; al llevar a cabo esas transformaciones tuvieron en cuenta las propiedades conocidas de las sustancias, y en algunos casos descubrieron otras nuevas.

La producción de fenómenos químicos puede ser ilustrada por las menciones realizadas por diferentes representantes de la iatroquímica quienes no solo las describen sino que

también se refieren a las propiedades observadas al llevar a cabo estos procesos. A este respecto Paracelso se expresa así: *“Hierro: tomar acero batido de forma delgada, llevarlo a ignición y apagar la misma en vinagre de vino fuerte. Continuar la ignición y apagar nuevamente hasta que el vinagre es de un bello color rojo y entonces destile la mezcla de vinagre y lleve a sequedad, luego hasta un polvo seco. Se obtiene un azafrán noble...”*. Como se sabe actualmente, el acero es hierro que contiene de 0,1 a 1,5% de carbono y vestigios mínimos de azufre y fósforo. Por lo tanto se puede suponer que este acero se calienta hasta ignición y luego se lo apaga en vinagre, de ese vinagre, posiblemente, reacciona el ácido acético con el hierro. Seguramente cuando el acero estaba incandescente comienza a producirse la reducción, de donde también se desprenden vapores de dióxido de carbono. El rojo del vinagre se debe probablemente a la formación de óxido férrico, que es lo que se obtiene finalmente por destilación de la parte volátil y posterior calcinación. Se puede suponer entonces que llama *“azafrán noble”* al óxido férrico. *“...Hay un proceso para hacer azafrán el cual es algo mejor y se prepara con menos enturbiamiento. Este método consiste en que el plato delgado de acero es estratificado y reverberado con partes iguales de azufre y tártaro. Esto da un azafrán extremadamente maravilloso el cual se extrae del palto delgado...”*. En este método para preparar el óxido férrico se colocaba aparentemente en capas superpuestas azufre y tártaro y se lo llevaba a un horno. Allí se calentaba y se producía el óxido buscado. El color pardo rojizo es característico cuando el aire en el que es calentado contiene azufre y es por lo que probablemente se considera en este pasaje que el óxido era de mejor calidad. *“...También con aceite de vitriolo, éste mata al hierro, lo destruye y lo consume y lo convierte en azafrán”* (Stillman, 1924). Es conocido que el óxido se obtiene al calcinar en el aire sulfato ferroso, reacción química que se representa así:

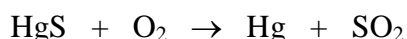


En este sentido Paracelso discute sobre la “mortificación” de los metales; “muerte” fue un término muy usado por los alquimistas primeros, para algunos procesos en los cuales se necesitaba privar a los metales de su vida o espíritu. Se puede decir que en general todos los procesos descritos se corresponden con los que actualmente llamamos oxidación directa o indirecta y que por todos ellos era obtenido el óxido férrico, en algunos casos más puro que en otros. Por eso es que en el lenguaje alquímico el hierro muere, deja de existir su cuerpo para convertirse en otro cuerpo, que es un compuesto, nótese también que podemos pensar que al hablar de muerte se quiere hacer referencia a que el producto obtenido es distinto, tiene otro aspecto y otras propiedades distintas al material usado al iniciar la reacción. La “mortificación” de Paracelso es con bastante probabilidad lo que actualmente se conoce como oxidación.

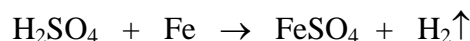
Así como habla de mortificación, Paracelso menciona a la “resucitación de las cosas naturales”. Al respecto él dice: *“El mercurio puede ser resucitado a partir del cinabrio, o desde el mercurio precipitado por frotación, mezclado con albúmina de huevo y jabón, haciendo una pelota del tamaño de una nuez y calentando en un recipiente terroso tapado con una plancha perforada de hierro hasta el cuello, calentando a fuego fuerte y destilando por descenso en agua fría. Entonces usted tiene mercurio”* (Stillman, 1924)

. El mercurio aquí es obtenido a partir de su mineral cinabrio (sulfuro mercúrico), moliéndolo hasta convertirlo en polvo y se lo mezcla con albúmina de huevo, que según se conoce, contiene carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno y que precipita cuando se contacta con sales de metales pesados y el jabón se sabe que está constituido por sales de ácidos grasos de sodio o potasio. Toda esta mezcla se calienta y allí se produce la reducción del mercurio que destila y es condensado. La presencia de la plancha

perforada de hierro, se puede suponer que es para la purificación del mercurio obtenido lo que puede asimilarse a una técnica utilizada por los alquimistas con el mismo propósito. En la actualidad el mercurio es obtenido por tostación del mineral cinabrio, este proceso se representa por la ecuación:



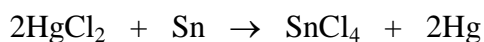
El problema de la prioridad en la observación del hidrógeno, tal como figura en la historia de la química es interesante. F. Hoefler en su “Historia de la Química” da a Paracelso el crédito por esta observación tal como sigue: *“la efervescencia que se manifiesta cuando el agua o aceite de vitriolo (ácido sulfúrico) son puestos en contacto con un metal tal como el hierro no había escapado a su espíritu observante. El conoce que en esta operación se da un aire, un viento y que este aire se separa del agua de la cual es esto un elemento. Paracelso había reflejado la verdad en ello”* (Stillman, 1924). En este pasaje se hace referencia al desprendimiento de hidrógeno, cuando reacciona el ácido sulfúrico con hierro y forma además el sulfato ferroso, lo que actualmente se representa con la ecuación:



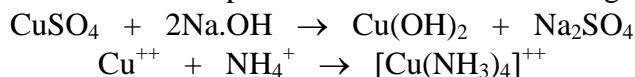
La manera de caracterizar al hidrógeno gaseoso es comparándolo con el aire, única sustancia gaseosa considerada hasta el momento, en las primeras épocas filosóficas.. Este “viento”, el hidrógeno, es por primera vez considerado como un elemento. Aunque se desconoce, según nos comenta Stillman, si fue en realidad Paracelso quien lo describe por primera vez, ya que su descubrimiento es acreditado por algunos escritores a Turquet de Mayerne y por otros a Boyle.

En el trabajo de “Pharmacopea” aparece muy claramente la descripción de una observación realizada por Turquet de Mayerne: *“yo había tomado 8 onzas de limaduras de hierro y las había puesto en una cubeta profunda de vidrio. Había añadido sucesivamente 8 onzas de aceite de vitriolo y un poco después agregué una cantidad igual de agua caliente. Se produjo una enorme agitación, una gran ebullición, y un “meteorismo” de la materia que cesaba fácilmente por agitación con una varilla. Se produce también un vapor fétido sulfuroso, muy nocivo para el cerebro, el cual si se acerca cerca de una vela se prende fuego, por lo cual esta operación debe hacerse al aire libre o bajo una chimenea”* (Stillman, 1924). Realmente en esta descripción se está hablando del gas hidrógeno, no quedan dudas al leerla. Además en este caso se suma a la reacción el agregado de agua y es por ello que Turquet observa esa agitación que tanto llama su atención. Con respecto al gas sulfuroso que él nombra se trata en realidad del hidrógeno del que se conoce que es un gas incoloro, sin sabor ni olor, lo que se no refleja a través de la descripción, esto conlleva a pensar que en la reacción pueden haber estado presentes vestigios de impurezas que le dan un olor desagradable, inclusive se puede suponer que esas impurezas llevaron a la formación de sulfuro de hidrógeno, le atribuye a esta misma sustancia propiedades combustibles lo que no es correcto. Esto lleva a suponer que en realidad otro producto era hidrógeno el que sí presenta en cambio esta propiedad. Además se refleja desde la cita una relación cuantitativa entre las sustancias que originan la reacción química.

Libavius, un seguidor de Paracelso, trabajó generalmente acerca de preparaciones de sustancias con relación a su uso en medicina. El tetracloruro de estaño, al cual *“preparaba por calentamiento de sublimado corrosivo con estaño y al cual llamaba “liquor or spiritus of mercury sublimate” fue muy conocido como spiritus fumans Libaviu”*, esto es calentando cloruro mercúrico con estaño, reacción química que actualmente se representa así:

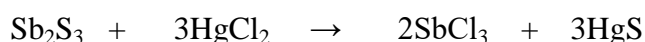


Fue Libavius quien realizó: *“la observación del color azul producido en el amonio por el cobre. También pareciera que el sulfato de amonio fue preparado por él”* (Salzberg, 1991). Esta cita se refiere probablemente a la reacción, que se produce cuando se agrega solución de hidróxido de sodio o potasio a una solución fría de una sal cúprica, formando un precipitado azul pálido de hidróxido cúprico, éste último, se sabe que es muy soluble en amoníaco acuoso dando como resultado un complejo soluble, el ión cuproamino, de color azul muy intenso que es característico y es a lo que probablemente se refiere Libavius. La reacción se representa actualmente como sigue:



Beguín fue otro de los iatroquímicos que realizó aportes respecto a las transformaciones de las sustancias, en este sentido se puede citar un fragmento del libro denominado *“Elementos de Química”* en el cual reportó que: *“ cuando el sublimado corrosivo cloruro mercuríco y la estibina (SbS<sub>3</sub>) eran calentados el mercurio en la sublimación se combinaba con el azufre proveniente de la estibina por lo que el antimonio se combinaría con el “Espíritu vitriólico” (cloro). Sus productos fueron cinabrio (HgS) y manteca de antimonio (SbCl<sub>3</sub>),”* (Salzberg, 1991). La reacción expresada en términos de Beguín es:

Estibina + sublimado corrosivo → manteca de antimonio + cinabrio



Observando cualquiera de las dos interpretaciones, es obvio que Beguín conocía que el cinabrio estaba compuesto de mercurio y azufre; la manteca de antimonio estaba hecha de antimonio y cloro; la estibina consistía en antimonio y azufre y el sublimado corrosivo estaba hecho de mercurio y plomo. Según Salzberg, él afirmó que cuando las sustancias se combinan ellas no pierden su identidad individual, ya que siguen existiendo en el compuesto. Se puede inferir desde lo expresado en estas reacciones que tal vez Beguín actualmente habría descrito y dado una correcta explicación de lo que se conoce como reacción de doble descomposición o doble desplazamiento.

Agrícola, del que ya se hizo referencia en este período, también estuvo interesado en las transformaciones producidas a partir de la reacción entre sustancias, esto se puede observar en la descripción de 10 recetas para los materiales que podían ser destilados en el horno. La primera consiste de: *“ una libra de vitriolo con bastante agua y 1/3 de libra de agua de manantial. Destilando esto se produciría solo ácido clorhídrico por calentamiento suave y forzando el calentamiento podría eventualmente producirse algo de ácido sulfúrico”*. El vitriolo empleado puede haber sido sulfato ferroso, sulfato de zinc o sulfato cúprico, y la presencia del cloro para formar ácido clorhídrico seguramente estaba proporcionada por el agua de manantial en algún compuesto salino como por ejemplo cloruro de sodio. La segunda receta tiene: *“ 2 libras de vitriolo, una de salitre con agua. Esta mezcla da primero ácido nítrico más o menos diluido el que en una etapa posterior de la destilación se mezcla con ácido sulfúrico, la tercera consistía de 4 libras de vitriolo, 2 ½ de nitro, ½ a una libra de alumbre con agua”* (Stillman, 1924), que revelan la formación del ácido nítrico y el ácido sulfúrico posteriormente.

Nuevamente el vitriolo representa la presencia del ión sulfato, también hay aquí nitrato de potasio y agua. Se advierte además una relación cuantitativa entre las sustancias empleadas. De la cuarta a la 8ª receta son de mezclas de la misma naturaleza general en las que varían las proporciones pero que en lo esencial no se diferencian. La 9ª contiene: *“ 2 libras de polvo ladrillo, una de vitriolo, una de salitre, ½ de sal y ¾ a 1 libra de agua. Esta mezcla debería originar agua regia de concentración creciente”*

según el progreso de la destilación”, el agua regia es una mezcla de ácido nítrico y ácido clorhídrico concentrados. Para obtenerla están presentes el ión sulfato, el nitrato de potasio, el cloruro de sodio y agua. La 10° mezcla consiste de: “ 3 libras de salitre, 2 de piedras las cuales se licúan en el horno con fuego de 3° grado (fuego medio). Además tiene de ½ a 1 libra de verdigris, de sitibium (sulfuro de antimonio), hierro y asbesto con una a un tercio de libra de agua de manantial. Destilando a sequedad el producto vendría a ser ácido nítrico que contiene mucho ácido nitroso y al final de la destilación también se produciría ácido sulfúrico” (Stillman, 1924). Otra vez los ácidos nítrico y sulfúrico son los productos obtenidos partiendo de la receta, que también muestra además relaciones cuantitativas.

Las recetas consideradas se presentan en una tabla, para facilitar su análisis y comparación, y se detallan a continuación:

**Tabla N°2 Recetas para preparar sustancias**

Receta N°	Materia prima inicial	Producto final obtenido
1	1 libra de vitriolo – agua – 1/3 libra de agua de manantial.	HCl H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
2	2 libras de vitriolo – 1 libra de salitre con agua.	HNO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
3	4 libras de vitriolo – 2 1/2 libras de nitro – ½ a 1 libra de alumbre con agua.	HNO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
9	2 libras de polvo de ladrillo – 1 libra de vitriolo – 1 libra de salitre – ½ libra de sal – 3/4 a 1 libra de agua.	Agua regia (HNO <sub>3</sub> + HCl → NOCl + Cl <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O)
10	3 libras de salitre – 1/2 a 1 libra de verdigris – 1/2 a 1 libra de sulfuro de antimonio – 1/2 a 1 libra de asbesto – 1/3 a 1 libra de agua de manantial.	HNO <sub>3</sub> con mucho contenido de HNO <sub>2</sub> . H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

Del análisis de la tabla se desprende que los productos obtenidos son en general ácidos. Las sustancias que los originan son variadas, pero es constante la presencia de vitriolo, que revela a su vez la presencia del ión sulfato. También el agua está presente en todas las recetas, posiblemente proporcionando el hidrógeno necesario. Cuando se obtiene también ácido nítrico se incluye en la receta al salitre o nitro lo que revela la presencia del ión nitrato. En la receta 9 se advierte la presencia de sal, que seguramente es cloruro de sodio, que es quien aportaría el cloro para la formación del ácido clorhídrico. En otros casos, como por ejemplo en la receta 1 el cloro parece ser proporcionado por el agua de manantial. En todas las recetas consideradas se advierte una relación cuantitativa entre las sustancias iniciales.

También los procesos de **separación de los metales desde sus minerales** fueron considerados por los iatroquímicos quienes además describieron y utilizaron las propiedades de los metales tales como **fusibilidad, maleabilidad, brillo, aspecto, color, peso específico**.

Paracelso en un fragmento de su “De Mineralibus” dice: “ *Un metal es aquel que puede ser convertido en un instrumento por el hombre. Los mismos son: oro, plata, hierro, cobre, plomo, estaño; estos son generalmente conocidos como metales. Ahora hay algunos metales que no han sido reconocidos en los escritos de los antiguos filósofos y ni siquiera reconocido como tales, es decir como: el zinc, cobalto, los cuales pueden ser martillados y forjados con el fuego...* ”. El químico médico caracteriza a los metales considerando, de manera implícita en esta cita, sus propiedades de maleabilidad,

ductilidad, fusibilidad, etc. cuando dice: *"Un metal es aquel que puede ser convertido en un instrumento..."*. Además agrega a la lista de metales ya conocidos el zinc y el cobalto, sugiriendo que si presentaban las mismas propiedades que el oro, la plata, etc. debían ser considerados también metales. Y en otra parte del mismo libro dice: *"¡Hay también otro metal llamado zinc...éste no es conocido generalmente; en este sentido es un metal de una clase especial y desde otro punto de vista es una semilla. Algunos metales se mezclan con él. Este metal es fusible porque proviene de tres elementos fusibles: azufre, mercurio y sal. Pero no posee maleabilidad y si fusibilidad. Su color es diferente del color de los otros así que no se encuentran otros metales en su desarrollo. Es de tal manera que su materia prima no es conocida por mí"* (Stillman, 1924). Cuando él descubre el zinc, busca explicar su origen, como es de esperar, desde su Tría Prima y considera que ya que su origen son tres sustancias fusibles, el zinc también lo era. Llama la atención de Paracelso que este metal, aunque en poca cantidad, se encuentra libre en la naturaleza, por eso él dice que: *"no se encuentran otros metales en su desarrollo"* y lo llama también "semilla" por el mismo motivo y porque, como dijimos anteriormente, los metales para él crecían de semillas. Además percibe otra característica y es la de presentar un color característico. En realidad el zinc, como sabemos, es un metal gris blanco o azulado brillante, pero pierde el brillo al aire húmedo, pues se cubre de una capa de óxido y de carbonato que lo protege de un posterior ataque, y es por ello, posiblemente, que el brillo metálico no es observado por Paracelso, y es lo que tal vez lo hace afirmar que es un metal de color diferente a los otros. A su vez en la "Philosophía..." él se refiere al zinc en conexión con una teoría caprichosa acerca del origen de los metales en la cual dice: *"...el zinc es un metal y solo uno al igual que el bismuto y los cuales funden y de algún modo son maleables. A su vez ellos son considerados metales debido a su fusibilidad pero también son metales bastardos. Esto es, porque son afines con otros, pero a su vez son diferentes. Por ello el zinc es en mayor parte un bastardo del cobre y el bismuto del estaño"* (Stillman, 1924). En este pasaje se consideran las propiedades que hacen al comportamiento y aspecto de estos tres elementos como metales pero a su vez se distinguen en ellos las características que los hacen parecerse a los no metales actuales. El término "bastardo", con el correr de los siglos, se transformó en el término con que actualmente llamamos a estos elementos, "semimetales". Podemos concluir, entonces, que esta caracterización del zinc y del bismuto como metales bastardos encuentran analogía en una centuria posterior cuando se designa a éstas y otras sustancias como medio metales o semimetales; esto fue considerado así por Boerhave en los comienzos del Siglo 18. Biringuccio realiza descripciones de métodos de recuperación de metales desde los minerales en forma clara y comprensible, esto puede ser ilustrado por su descripción de la recuperación del oro desde arenas de río. *"Así como se ha mencionado hay algún acero encontrado en las arenas de varios ríos, como en España, (en el Tajo), en el Ebro, en Asia en el Pactolus, en India en el Ganges, y en varios ríos de Hungría, Bohemia y Lasliffia; en Italia en las arenas del Ticino, Adda y Po; no en todas las arenas sólo en ciertos lugares especiales, aquellos que tienen lechos de grava, con lodos y en los cuales el oro está mezclado en la forma de hojuelas o partículas minúsculas. Ahora en tiempos de invierno es difícil recuperarlos. Entonces sí es más fácil en verano para recuperarlos por ingeniosos métodos, lavando las arenas y haciéndolas pasar por material especial, usando tablas de ébano, por ejemplo u otros materiales fibrosos, la superficie de los cuales son taladradas haciendo huecos a ellos. Se hace pasar a través de ellos la arena con abundante agua, la arena es más pesada, entra en los huecos y el oro flota y así se separa de la arena. El oro es cuidadosamente recuperado y finalmente colocado en un vaso de madera, se lo vuelve a lavar hasta que*



*este bien limpio. Finalmente se amalgama con mercurio y se lo coloca en el alambique para ser destilado. Lo remanente es oro, el mercurio es evaporado, libre de arena, se funde con bórax o salitre o jabón y reduce su volumen, se forman así barras del tamaño que se desee”* (Stillman, 1924). Después de anunciar en qué lugares se puede encontrar oro detalla el proceso de lavado, del que ya se hizo referencia en el período anterior. La diferencia en este caso es que el proceso no se detiene allí, sino que después de obtener el oro, se lo funde con borax u otra sustancia y que, según expresa, no altera su naturaleza pero reduce su volumen. En realidad se sabe que el proceso de fusión no altera la cantidad de oro existente sino su apariencia física, y forma barras que se supone son similares a los lingotes que se conocen actualmente. De la cita se puede inferir que el oro fundido se colocaba en algún tipo de molde ya que el iatroquímico habla de obtener las “...barras del tamaño que se desee...”.

- **De los Aportes Teóricos**

Las ideas que habían brillado en las especulaciones, de los filósofos griegos particularmente, fueron edificándose sobre bases cada vez más sólidas, ahora constituidas por la experiencia, seguían ligadas en algunos aspectos a las concepciones aristotélicas. En este sentido, los iatroquímicos y especialmente Paracelso y Beguin realizaron importantes aportes teóricos que en el futuro contribuirían al establecimiento de la química como una ciencia.

Paracelso en su doctrina conocida como: “La Tría Prima” sostiene que: *”Tres son las sustancias que originan el cuerpo: cada cuerpo consiste de tres cosas. Los nombres de estas tres cosas son: azufre, mercurio y sal. Cuando estas tres se combinan entonces tenemos lo que llamamos el cuerpo y nada es añadido a él excepto la vida y lo que de él depende...Ahora para comprender este hecho tomamos primero, por ejemplo, madera. Esto es un cuerpo. Ahora procedemos a quemarlo. Lo que se quema es el azufre; lo que se vaporiza es mercurio y lo que se torna en cenizas es sal...Esto es, lo que se consume es azufre; lo que es gas es mercurio, nada sublima, salvo el mercurio; lo que se torna en cenizas es sal; lo que no es sal, no se torna en cenizas”* (Stillman, 1924). Esta doctrina se basa en la idea, como podemos entender a través del pasaje anterior, que toda la materia esta hecha de tres principios, azufre, mercurio y sal. Esta noción, recordemos, estaba desarrollada en las teorías árabe-griego de la constitución de los metales y otras materias, a partir del azufre y del mercurio. Esta teoría ligada a la filosofía medieval implicaba que el mercurio y el azufre eran las primeras sustancias que habían sido generadas en la tierra a partir de los elementos: fuego, agua, aire, tierra. Para el azufre esto venía a comprender el constituyente que es combustible, para el mercurio la madre de todos los metales siendo la fluidez su propia característica. Este además originaba la fusibilidad en los metales los cuales eran generados por él y lo contenían.

Desde otro punto de vista, la materia fue considerada por otros filósofos medievales como que estaba compuesta por cuerpo, espíritu y alma. El cuerpo era aquel que le daba solidez y permanecía, el espíritu era el que escapaba desde el fuego y era volátil. El alma no fue definida inteligentemente y directamente se la adoptó en forma general. Paracelso cristaliza esta vaga teoría en una más tangible cuando asume que toda la materia está hecha de tres sustancias principales y le adjudica a las mismas funciones más definidas que las que previamente habían sido reconocidas. El azufre fue el principal combustible, el mercurio el que impartía fusibilidad, fluidez y volatilidad, y la sal, la que no era ni volátil, ni combustible. Esta idea fue desarrollada por Paracelso en varias partes de sus trabajos. En el “De Rerum Naturalium”, él relata sus tres principios

de la teoría de cuerpo, alma y espíritu: “...yo conozco los siete metales que originan los tres materiales nombrados como mercurio, azufre y sal, los que tienen diferentes colores. Así como Hermes ha dicho no incorrectamente que los siete metales nacen y se componen de tres sustancias, similarmente también lo hacen las tinturas y la piedra filosofal. El llama a estas tres sustancias espíritu, alma y cuerpo. Pero él no ha indicado cómo se puede comprender esto y que da a entender con ello. Tal vez él conoce sobre esto pero no lo ha pensado por aquí. Yo no digo que él esté errado, sólo que está en silencio. Pero para comprender por qué las tres diferentes sustancias a las que él llama: espíritu, alma y cuerpo yo debería conocer que ello no quiere decir otra cosa que los tres principios azufre, mercurio y sal a partir de los cuales los siete metales se originan. El mercurio es el espíritu, el azufre es el alma y la sal es el cuerpo” (Stillman, 1924). Es hasta lógico pensar que las afirmaciones de Hermes son oscuras, poco claras, ya que es una característica que marca la época de la alquimia; es por ello que Paracelso no logra descifrar claramente lo que éste intentaba expresar con sus ideas sobre la constitución de los cuerpos. Además Paracelso pretende que Hermes “explique” lo que afirmaba, olvidando tal vez que los alquimistas primeros solo experimentaban con las cosas sin buscar explicaciones coherentes, simplemente porque no les interesaba hacerlo. Ellos, recordemos, basaron su actividad experimental en teorías heredadas de los filósofos y su único objetivo era obtener oro acualquier precio. Tal vez es por esto que Paracelso dice: “...no ha pensado por qué...”. Paracelso logra un paralelismo entre lo que sostenía Hermes y lo que él afirmaba como fundamento de su Tría Prima. Es así que, para Paracelso el mercurio era el espíritu; el azufre era el alma y la sal era el cuerpo. Ahora bien, Paracelso no indica en ningún lugar de sus obras si considera el azufre, mercurio y sal como meramente mercurio, azufre y sal común, pero así como los alquimistas primitivos consideraban su azufre y mercurio como un “mercurio de los filósofos” y un “azufre de los filósofos”, él también usaba un concepto similarmente generalizado de los tres principios. Esto es así tanto que en su “De Mineralibus”, donde él discute sus tres principios con considerable extensión dice: “Así como hay clases de frutas, hay clases de azufre, sal y de mercurio. Un azufre diferente está en el oro, otro en la plata, otro en el hierro, otro en el plomo, estaño, etc. También hay uno diferente en el zafiro, otro en la esmeralda, otro en el rubí, etc. Asimismo hay otro en las rocas o piedras, en las sales, etc. Y no sólo hay distintas clases de azufre sino que también hay algunas clases de sal, unas diferentes en los metales, otras diferentes en las gemas, rocas, sales, vitriolo, alumbre. Similarmente ocurre con el mercurio, hay uno diferente en los metales, otro en las gemas, y así siguiendo, es decir, que, así como hay una especie hay un mercurio diferente. Y ello son tres cosas. De una naturaleza es el azufre, de otra naturaleza es la sal y de otra el mercurio. Y además ellos están aún más divididos así es que no hay meramente una clase de oro, así como hay una sola clase de peras o manzanas, sino algunas clases. Es por esto que, hay algunas clases diferentes de azufre de oro, sales de oro, mercurio de oro” (Stillman, 1924). En este escrito el químico médico ilustra de manera clara y comprensible cómo es que él considera el origen y la constitución de las sustancias en su Tría Prima, ya que hace notar que si bien el origen es siempre azufre, por ejemplo, no todas las cosas o sustancias originadas de él son iguales. Para cada sustancia sugiere una clase de azufre distinta, es decir que en realidad tendría que haber tantas clases de azufre como de sustancias se conocieran, y hace extensivo esto para el mercurio y la sal. Pone de manifiesto, además que, entre las tres sustancias azufre, mercurio y sal no hay puntos en común, son distintas entre ellas. Cada una tiene una naturaleza independiente de la otra. Cada una cumple una función distinta. Pero las tres son los únicos orígenes aceptados por él para cualquier clase de materia. Y los tres pueden dar origen a clases de materia

con una sustancia determinada, como por ejemplo, el oro. Actualmente podríamos dar como ejemplo: el cloruro áurico, el nitrato auroso, el sulfato áurico, las tres sustancias tienen oro, pero fueron originadas de distintas fuentes o naturalezas, si vale la comparación.

## CONCLUSIONES

Por cientos de años los alquimistas y los iatroquímicos habían aislado, purificado y caracterizado nuevas sustancias y descubierto nuevas reacciones. Asimismo textos impresos habían facilitado la información que concierne a las sustancias y sus usos. Sin embargo, algunos nuevos desarrollos que podían ser radicales no ocurrieron rápidamente. Esto es así porque cuando se confrontaban con nuevos materiales y nuevas reacciones siempre se trató de explicarlos desde la teoría racional aunque se aceptaron algunos supuestos ad'hoc para explicar nuevos hechos. Estos comenzaron a modificar los puntos de vista aceptados hasta allí.

La próxima generación creció con la claridad de las teorías modificadas como marco de referencia, las cuales se confrontaron con más información demandando explicaciones adicionales.

Esta visión evolutiva, que concede gran importancia al contexto concreto en el que se desarrollan las teorías, trae consigo la asignación de un importante papel al criterio de la comunidad científica, frente a reglas formales lógicas como criterios de evaluación de las ciencias.

Es válido por lo tanto resaltar el aporte de los químicos médicos a la química, los que estuvieron centrados en transformaciones, propiedades y clasificaciones de sustancias. Pero sin duda el aporte más trascendente de la Iatroquímica a la Química fue contribuir fuertemente a la decadencia de la veneración de las doctrinas tradicionales y antiguas, lo que había caracterizado a las centurias precedentes, y lo que impedía que la Química focalice claramente su objeto de estudio y nazca definitivamente como una disciplina científica.

Se puede decir a partir de lo expuesto que la contribución de la iatroquímica en el desarrollo de la futura química reconoce la decadencia de la veneración de las doctrinas tradicionales y antiguas, lo que había caracterizado a los Siglos precedentes. Asimismo numerosos experimentos se adicionaron a los ya existentes; los nuevos descubrimientos fueron preparando el camino y proveyendo el material para desarrollos constructivos futuros.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Galarza, O. D.** (2008). Los aportes de los iatroquímicos a la estructura actual de la química (Parte 1). *Educación en la Química*, 14 (1) pp60-68

**Partington, J.**, (1989), *"A Short History of Chemistry"*, New York.

**Salzberg, H.** (1991), *"From Cavemanto Chemist, Circunstances and Achivements"*, American Chemical Society, Washington, DC.

**Stillman, J.**, (1924), *The Story of Alchemi and Early Chemistry*", Dover Publications, Inc, New York

## ***Informaciones y novedades***

### **¿Cómo asociarse a ADEQRA?**

Puede solicitar la ficha de inscripción a la filial que le corresponda, según su procedencia, o completar la ficha que aparece en la página web.

Debe pagar, por única vez, la cuota de inscripción de diez pesos (\$ 10) y una cuota anual de treinta pesos (\$ 30) en el primer cuatrimestre del año (estudiantes, \$20).

La forma de pago debe solicitarla a cada filial según su procedencia. Si no tiene una filial cercana, la Asociación dispone de varias formas para abonar las inscripciones y/o cuotas, de manera que sus socios puedan elegir aquella más conveniente:

1-- **Depósito bancario** en cualquier sucursal del **Banco GALICIA** en la cuenta a nombre de la Asociación: **Nº 9750124 - 2122 – 7**

2-- **Transferencia bancaria** a la misma cuenta cuyo

CBU es **0070122430009750124274 CUIT Nº 30 - 68934800 - 5**

Al efectuar el pago a través del Banco deben enviarse por e-mail a [dtegli@fra.utn.edu.ar](mailto:dtegli@fra.utn.edu.ar)

(Tesorero) o a [estelazamudio@adeqra.com.ar](mailto:estelazamudio@adeqra.com.ar) (Secretaria) los siguientes datos:

- la fecha de pago (depósito o transferencia),- el número de operación,- la sucursal donde se hizo el depósito bancario (número y Barrio/Localidad),- el monto del pago.

Inmediatamente después de acreditado dicho pago, se le confirmará por e-mail, y se adjuntará el recibo oficial de la Asociación con el ejemplar de la siguiente revista.

Le recordamos que el envío de las revistas se realiza a los socios con la cuota al día.

Las consultas pueden dirigirse a las siguientes direcciones de mail:

Administración [adeqra@adeqra.com.ar](mailto:adeqra@adeqra.com.ar)

Secretaría: [estelazamudio@adeqra.com.ar](mailto:estelazamudio@adeqra.com.ar)

Tesorería [dtegli@fra.utn.edu.ar](mailto:dtegli@fra.utn.edu.ar)

Los socios de ADEQRA reciben una revista Educación en la Química semestralmente, el Boletín informativo electrónico cada dos meses y mensajes con información que nos llegue sin la necesaria antelación para publicarla en el Boletín . Obtienen descuentos en las REQ, que se realizan cada dos años, y en otras reuniones organizadas por la Asociación u otras entidades con las cuales se establezcan convenios, tales como ADBIA, APFA, AQA.

Para acceder a mayor información acerca de la Asociación de Docentes en la Enseñanza de la Química de la República Argentina, así como a noticias de interés para los colegas, puede visitarse la página web: [www.adeqra.com.ar](http://www.adeqra.com.ar)

### **Nómina de Filiales de ADEQRA**

#### **Buenos Aires**

[adeqra@adeqra.com.ar](mailto:adeqra@adeqra.com.ar)

Presidente: Luis Costa

[costaluismario@yahoo.com.ar](mailto:costaluismario@yahoo.com.ar)

Secretaria: Estela Zamudio

[estelazamudio@adeqra.com.ar](mailto:estelazamudio@adeqra.com.ar)

**Filial Rosario**

[rosario@adeqra.com.ar](mailto:rosario@adeqra.com.ar)

Coordinador: Celia Edilma Machado

[edymachado@adeqra.com.ar](mailto:edymachado@adeqra.com.ar)

Secretaria: Adriana Caille

[acaille@ips.edu.ar](mailto:acaille@ips.edu.ar)

**Filial San Rafael**

[sanrafael@adeqra.com.ar](mailto:sanrafael@adeqra.com.ar)

Coordinador: Osvaldo José Rodríguez

[osvaldojrodriguez@yahoo.com.ar](mailto:osvaldojrodriguez@yahoo.com.ar)

Secretario: Raúl Ernesto Chernikoff

[rchernik@fcai.uncu.edu.ar](mailto:rchernik@fcai.uncu.edu.ar)

**Filial Patagonia**

[adeqrabariloche@yahoo.com.ar](mailto:adeqrabariloche@yahoo.com.ar)

Coordinador Andrés Raviolo

[araviolo@bariloche.com.ar](mailto:araviolo@bariloche.com.ar)

Secretaria Teresa Mesa

[tercarrie@yahoo.com.ar](mailto:tercarrie@yahoo.com.ar)

**Filial Olavaria-Tandil**

[centropba@adeqra.com.ar](mailto:centropba@adeqra.com.ar)

Coordinador: Adriana Rocha

[arocha@fio.unicen.edu.ar](mailto:arocha@fio.unicen.edu.ar)>

Secretaria: M<sup>a</sup> Luz Diez

[marialuzdiez@yahoo.es](mailto:marialuzdiez@yahoo.es)

**Filial Formosa**

[formosa@adeqra.com.ar](mailto:formosa@adeqra.com.ar)

Coordinador: Griselda García de Ferrari

[griselgg@yahoo.com.ar](mailto:griselgg@yahoo.com.ar)

Secretario: Alejandro Maldonado

**Filial Salta**

[salta@adeqra.com.ar](mailto:salta@adeqra.com.ar)

Coordinador: Violeta Torres

[torresav@arnet.com.ar](mailto:torresav@arnet.com.ar)

Secretaria: Dora G. Matana

[dmatana@netizen.com.ar](mailto:dmatana@netizen.com.ar)

**Filial Gualeguay**

[gualeguay@adeqra.com.ar](mailto:gualeguay@adeqra.com.ar)

Coordinador: Gustavo Borro

[cordobaonce@msn.com](mailto:cordobaonce@msn.com)

Secretario: Néstor Larreteguy

## **Química - A WIKI on Chemically Related Activity in América Latina**

La American Chemical Society ha creado una WIKI para catalizar la formación de comunidades de científicos con intereses en América Latina y para alentar la colaboración internacional y el trabajo en red. Cualquier interesado puede colaborar a la WIKI editando el contenido en forma tal que conduzca a compartir conocimientos e información acerca de actividades relacionadas con la química en la región. Use esta WIKI para compartir ideas, conectarse con colegas y contribuir con información acerca de la química en su país. ¿Listo para comenzar?

Ingresa a <http://quimica.wikispaces.com>

\*\*\*\*\*

## **AQA, Asociación Química Argentina - SERVICIO DE INFORMACION EN LINEA (SIL) –**

### **Consultas en Bases de Datos de STN e Internet**

A través de STN Internacional, acceso por computadora a más de 200 bases de datos internacionales científicas, tecnológicas y comerciales. Localización de información en Internet.

### **Búsquedas manuales en el Chemical Abstracts**

Además del acceso a través de STN, búsquedas bibliográficas en nuestra colección completa 1907-2003.

### **Obtención de Documentos en el exterior**

Artículos, patentes y otros documentos obtenidos por correo o vía electrónica.

\* **Consultas:** Lic. Ricardo Segura 4822-4886 int.28 E- mail: [sil@aqa.org.ar](mailto:sil@aqa.org.ar)

\*\*\*\*\*



**International Congress of Science Education**  
10 years of the Journal of Science Education  
Cartagena, Colombia, 15-18 July 2009

University Antonio Nariño  
Journal of Science Education

Post Box (A.A.) 241 241  
Bogota, Colombia  
Phone/fax (571) 2118069  
E-mail : oen85@yahoo.com  
www.colciencias.gov.co/rec/cong



**International Congress of Science Education**  
10 years of the Journal of Science Education

**Congreso Internacional de Educación en Ciencias Naturales**  
10 años de la Journal of Science Education

University Antonio Nariño  
Journal of Science Education  
www.colciencias.gov.co/rec/cong




**Journal of Science Education**  
Revista de Educación en Ciencias ISSN 0124-5481

**Cartagena, Colombia, 15-18 July 2009**

### **Para reflexionar**

Definiciones básicas de la química: una discusión didáctica

II. Elemento, Sustancia Elemental y Compuesto

*Andrés Raviolo*.....77

Interpretación de las representaciones sobre reacciones químicas en alumnos del primer año de la universidad

*P. Viviana Roldán, Mónica L Luna*.....

Dificultades y obstáculos para la utilización del modelo corpuscular en el caso de una solución, en alumnos ingresantes a la facultad de bioquímica y ciencias biológicas (UNL)

*Martha A. Perren, Héctor S. Odetti, Andrea Pacífico*.....

### **Ideas para el aula**

Una propuesta de clase diferente: POGIL

*M. Rosario Soriano*.....

Generación de gases mediante diferentes reacciones, utilizables para tratar temas ambientales

*Patricia A.M. Williams y Evelina G. Ferre*.....

### **De interés**

Pilas y baterías. Una forma de acercar la química a la comunidad

*Marisa S. Bais, Antonio F. Asteasuain y Mirta R. Barbosa* .....

El Premio Nóbel de Química 2008

*Luz Lastres*

### **Un poco de historia**

Los aportes de los iatroquímicos a la estructura actual de la química. (Parte 2)

*Ofelia Dora Galarza*.....

### **Informaciones y novedades**



