

# **Educación en la Química**

**Revista de la Asociación de Educadores en la Química de la República Argentina  
Secretarías Capital Federal y Provincia de Buenos Aires**



**ADEQRA**, Asociación de Educadores en la Química de la República Argentina, 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.

**SECRETARÍA CAPITAL FEDERAL    SECRETARÍA PCIA DE BUENOS AIRES**

Delegada: Karina Di Francisco  
Secretaria: Lidia Iñigo  
Tesorera: Luz Lastres Flores  
Vocales: Susana Viñas  
          Gabriel Levi  
          Marta Bulwik  
          Patricia Moreno

Presidente: Gabriela Mohina  
Vicepresidente: M. Gabriela Muñoz  
Secretaria: Liliana Knabe  
Prosecretaria: Patricia Moreno  
Tesorera: Rosa María Haub  
Protesorera: Mónica Steinman  
Vocales: Silvia Porro  
          Silvina Fornasari  
          Miriam Klein  
          Alberto Santiago

ISP Joaquín V. González  
Lab. de Química, 2º piso  
Rivadavia 3577  
1203. Buenos Aires

ISFD N° 24 B. Houssay  
Avellaneda 177  
1876 Bernal  
Pcia Buenos Aires

## ***Para reflexionar***

### **¿CTS o CTSP? Y LA EDUCACIÓN EN QUÍMICA**

**Faustino F. Beltrán**

#### **POR QUÉ ESTE TÍTULO**

El enfoque *Ciencia- Tecnología- Sociedad* para la enseñanza de distintas disciplinas científicas es hoy muy conocido y a él me referí en un trabajo publicado en esta misma revista tiempo atrás (Beltrán, 1997). Pero hace ya años que insisto en agregar una P (de propaganda) a la sigla CTS. Así lo expresaba, por ejemplo, en la conferencia “Reflexiones sobre la formación y perfeccionamiento de los profesores de química” desarrollada el 15-11-97 en el XI Congreso Nacional e Internacional de Profesores de Química en Minas, República Oriental del Uruguay. También en varias otras oportunidades, como por ejemplo en alguna REQ.

Creo que, especialmente en Educación, es muy importante considerar los efectos de la propaganda que muchas veces engaña, induce a errores (también científicos) y obliga a una permanente actitud crítica para no *ingerir* ingenuamente sus productos. No cabe duda de que la propaganda incide mucho sobre la Tecnología y sobre sus interacciones con la Sociedad. Es frecuente, por ejemplo, asistir a discusiones acerca de si la Tecnología busca satisfacer las *necesidades* (vale decir los *intereses*, sanamente entendidos) o los *deseos o demandas* de los seres humanos. Estos últimos eventualmente estimulados, a veces en forma poco benigna, por la propaganda.

Propaganda es “la acción o el efecto de dar a conocer una cosa con el fin de atraer adeptos o compradores” (de acuerdo con el diccionario), o también los “textos, trabajos y medios empleados para este fin”. Por eso, la *Propaganda* se dirige a los jóvenes y aun a los niños, por ejemplo, con el *fin de atraerlos* hacia el hábito de fumar cigarrillos, lo que podrá convertirlos en *compradores* de ellos durante toda la vida. La *Tecnología* desarrollará procesos para fabricar los cigarrillos. La *Ciencia* procurará curar o aliviar las enfermedades que el hábito de fumar produce. Y la *Sociedad* pagará, a través de obras sociales, hospitales, etc., los gastos que dichas enfermedades ocasionaren.

#### **UNA RESPONSABILIDAD PARA EDUCADORES**

En este mundo en que vivimos, sumergidos en ofertas de todo tipo a través de los medios de comunicación, es fundamental el *espíritu crítico*. Y aquí hay una responsabilidad muy especial para todo educador. Esto no es nuevo. Hace ya bastante más de treinta años

(en 1968) el Primer Simposio Nacional sobre la Enseñanza de las Ciencias, incluida objetivos generales en sus recomendaciones. El *primero* de ellos estipulaba:

*Desarrollar la capacidad para la abstracción, el pensamiento lógico y el examen crítico de las informaciones y observaciones.*

El *examen crítico* de las informaciones incluye, por supuesto, aquéllas con las que la propaganda nos bombardea.

Como educadores “nuestro objetivo es enseñar a pensar libremente, creativamente, para hacer individuos mejores, más libres y, en la medida de lo posible, más felices” (Delval, 1991).

La naturaleza de la actividad científica es “sobre todo una forma de tratar las cosas, de interrogar a la realidad, de dudar de las explicaciones generalmente admitidas y de examinar las consecuencias de nuestras conjeturas” también según Delval. Entonces, si dudamos de las “explicaciones generalmente admitidas”, ¿cómo no dudar de los mensajes de la propaganda, sean audiovisuales o impresos? ¿Por qué no contrastarlos con otras informaciones y observaciones? Una buena técnica para desarrollar espíritu crítico y desmitificar la palabra impresa es que los alumnos lean algún texto con errores una vez que se han explicado los conceptos necesarios para que puedan detectarlos. Para ello es útil que el docente vaya acumulando materiales con imprecisiones o errores que aparecen en los periódicos. También en libros; eso (que es peor) motivó la publicación por el Grupo “Educación y vida”(1999) del libro “Está escrito...;pero está mal! (en química)”. Sabemos que dos valiosos colegas están redactando algo similar en física.

Es que el prestigio de la palabra escrita es muy grande. Repitiendo la expresión de una exalumna, hoy profesora, citada en el prólogo de ese libro “es que, cuando uno lee, lee muy confiado...”

## EN QUÍMICA

Veamos algunos ejemplos sólo vinculados con la palabra “sustancia”

\* “El *aerogel*, sustancia compuesta en un 99% por aire” ( de *La Nación*, Buenos Aires. 26-3-04).

¿Qué le diríamos al alumno que opina que algo que contiene aire es una *sustancia*?

\* “(...) una sustancia denominada radioisótopo” (*La Nación*, 15-7-01).

¿Radioisótopo una *sustancia*?

\* “(...) un ataque biológico con sustancias como el ántrax, la viruela u otros gérmenes mortales, informó ayer The New York Times” (*La Nación*, 23-1-03).

Evidentemente, The New York Times está poco informado sobre el concepto de sustancia en química.

\* “(...) se trata de una sustancia (realmente parece un barro) que resulta de tratar los desechos cloacales (...)” (*La Nación*, 12-6-99)  
¡Qué barro!

Y para que no pueda suponerse que es ensañamiento con el diario “La Nación”, otros dos notables ejemplos podían leerse en el boletín nº5 “Nueva escuela. Más y mejor educación para todos”, editado por el Ministerio de Educación y Cultura de la Nación en noviembre de 1993:

\* Los átomos de una misma sustancia tienen idénticas propiedades físicas (peso, tamaño, etc.) y químicas (...)” (pág.11).

¿Sí? Los que constituyen la sustancia agua, por ejemplo, o sea los de hidrógeno y oxígeno ¿cumplen con esto?. ¿O es que el párrafo supone que hay *átomos* de agua?. Y si tienen igual “peso” (sic) ¿desaparecieron los isótopos?.

\* “Cuando los químicos comenzaron a estudiar sustancias que provenían de organismos vivos, como por ejemplo la clara de huevo, obtenían resultados inesperados” (pág. 12).  
En realidad lo inesperado es que aquí se sostuviera que la clara de huevo es una sustancia...

Es que **sustancia no es cualquier cosa**, como se titula uno de los capítulos del libro mencionado (Grupo "Educación y vida", 1999)

## Y CON LA PROPAGANDA ES PEOR

Aquí se reúnen con frecuencia el desconocimiento de la química con el interés de atraer posibles compradores de acuerdo con la definición de propaganda. Veamos algunos ejemplos:

\* Leemos en una etiqueta de agua mineral que es "naturalmente liviana". Eso es importante porque se indica que "tomando agua liviana eliminás toxinas". Y se aclara luego que, porque "es el agua liviana, circula más fácilmente por todo tu cuerpo".

Según el diccionario agua liviana significaría agua "de poco peso". Científicamente hablando equivaldría a decir de *baja densidad*. Ciertamente, también, que la expresión *baja densidad* no es suficientemente precisa... ¿Cuándo es alta y cuándo es baja?

Admitamos lo de baja. ¿Será, entonces, que contiene una *baja* concentración de iones disueltos?. ¿O quizás menor proporción de deuterio y tritio?. Claro es que sería desaconsejable beber *agua pesada*...

El análisis de estos aspectos del texto de esta etiqueta podría dar lugar a una discusión interesante en clase.

\* Otra agua mineral señalaba en su propaganda que "tiene todos los minerales que tu cuerpo necesita". Esta expresión hace posible un *estudio crítico* en relación a qué se entiende por *minerales*. Un atractivo libro sobre los muy distintos significados de esta palabra y de su importancia en las ciencias naturales, orientado a lectores de 10 a 15 años

de edad, fue publicado por dos profesoras, antes brillantes exalumnas (Camacho y Vazquez Freire, 1999).

La comprensión de cuáles son *todos los minerales* que requiere nuestro organismo, incluyendo a los llamados oligoelementos, microelementos o elementos vestigiales es un tema digno de ser abordado en biología y en química.

Volviendo a la etiqueta. Aclarado que los minerales a que se refiere no son calcita ni pirita sino los llamados *elementos minerales*... ¿serán todos? ¡Así dice! ¿Incluyendo cloro, sodio, potasio, calcio, fósforo, magnesio, iodo (o yodo, según las opiniones), azufre, hierro, cobre, zinc, flúor, etc?. Otro tema para el análisis por alumnos brillantes: la solubilidad de los compuestos formados por los iones calcio y fosfato (ortofosfato), según sus concentraciones debe ser tomada en cuenta, ya que un agua mineral no debería ser turbia... Por supuesto que la solubilidad de otras sales también podría considerarse

Y también con el pH, por la posibilidad de la presencia de los iones mono o dihidrógenofosfato.

Evidentemente, muchas de estas disquisiciones escapan a los niveles actuales de la educación media (o EGB 3 + polimodal) pero siempre pueden ser catalizadores positivos para estimular a un alumno brillante...

\* Otra expresión que leemos en una etiqueta (también de agua mineral) puede ser útil para el *análisis crítico*. Señala que una elevada proporción "del sodio disuelto (...) está asociado al **bicarbonato de sodio** (sic) y otras sales ". Y agrega "que se ha demostrado que el **bicarbonato de sodio** es beneficioso para la salud y no guarda relación alguna con la hipertensión arterial".

Esto da para una interesante discusión vinculada con el concepto de ion que habilita a preguntas como éstas:

- ¿Qué puede significar que un ion está *asociado* a una sal en solución acuosa? Sería interesante hacer esquemas sobre lo que imagina el autor de esa expresión...

- ¿Qué deben evitar los hipertensos en relación con *el sodio*? ¿*Todo el sodio*? ¿*Los iones sodio, las sales de sodio en estado sólido y/o disueltas*? ¿*Ciertas sales de sodio* y otras no? ¿Por qué? Esto puede permitir una útil comprensión del concepto de ion..

- ¿Qué ocurre con el "bicarbonato de sodio" en el medio fuertemente ácido del estómago? Algún experimento vinculado puede ser útil.

Aquí nos hemos limitado a textos *escritos* y sólo referidos al agua mineral. La propaganda vinculada con otros productos industriales y efectuada por diversos medios, por ejemplo los audiovisuales proporcionan otros ejemplos. Un grabador de audio o video puede colaborar

Tal vez la actividad de un docente que desarrolle *espíritu crítico* frente a los mensajes de la propaganda puede tener derivaciones muy valiosas: ¿no contribuirá a desarrollar un mejor ciudadano?

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Delval, J. (1991) *Crecer y pensar*. Paidós, Barcelona, 238-239

Beltrán, F. F. (1997). Química/Tecnología/Sociedad y algunas encuestas. *Educación en la Química*, 3 (1) 21-26.

Camacho, S. V. y Vázquez Freire, M.(1999) *Un mundo de minerales*. Lumen (El club de los científicos), Buenos Aires.

Grupo "Educación y vida" (1999). *Está escrito... ¡pero está mal! (en química)*. Magisterio del Río de la Plata, Buenos Aires.

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

### **UNA PROPUESTA DE INTRODUCCIÓN DE CONTENIDOS DE QUÍMICA VERDE, EN LA CURRÍCULA DEL NIVEL POLIMODAL**

**Claudia Mabel Martino<sup>1</sup>, Silvia Alejandra Verardo<sup>1</sup> y Gustavo Pablo Romanelli<sup>2</sup>**

1 Instituto Santa Lucía (DIEGEP 4192), Quintana 72, CP 1888, Florencio Varela, Provincia de Buenos Aires.

2 Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas "Dr. Jorge Ronco" (CINDECA) y Laboratorio de Estudio de Compuestos Orgánicos (LADECOR), Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Calles 47 y 115, 1900, La Plata, Provincia de Buenos Aires. email:gpr@química.unlp.edu.ar

#### **RESUMEN**

La Química Verde o Química Sostenible se ocupa del diseño de productos o procesos químicos que reducen o eliminan el uso y producción de sustancias peligrosas. Ha ido tomando posición en las áreas de investigación y desarrollo tanto en la Industria como en la Universidad, abarcando la mayoría de las áreas de la Química. Daryle Busch, ex Presidente de la Sociedad Americana de Química enunció "La Química Verde representa los pilares que mantendrán nuestro futuro sostenible. Es imprescindible enseñar el valor de la Química Verde a los químicos del mañana".

En el presente trabajo se desarrolla una propuesta de inclusión de contenidos de Química Verde o Química Sostenible en diferentes Espacios Curriculares del Polimodal en la Modalidad Ciencias Naturales, con el objetivo de concienciar a los alumnos de las ventajas de la misma para un desarrollo sostenible. Los contenidos se incorporan a través de: lectura y análisis de textos, búsqueda bibliográfica de recientes investigaciones y procesos, e inclusión de un trabajo práctico de laboratorio de Química Verde.

La introducción de estos contenidos se relaciona con la necesidad de formar jóvenes críticos y responsables, frente a los problemas medioambientales, así como reconocer el valor de la Química Verde como una posible solución para dichos problemas.

#### **INTRODUCCION**

No podemos negar los beneficios del desarrollo industrial, derivados del incesante progreso de la Ciencia y la Tecnología. Dichas disciplinas han contribuido notablemente al mejoramiento de nuestra calidad de vida, posibilitando que gran cantidad de individuos puedan acceder al control de su salud, dispongan de viviendas y vestimentas dignas, una alimentación sana, sin olvidarnos de todas las ventajas derivadas de las Tecnologías de la Información y la Comunicación. (Arnáiz, 2003).



La integración de los adelantos de la Física y la Química, a la Biología hizo posible que se descubrieran maravillosas drogas y medicamentos contra causantes de enfermedades, fuentes de energía no renovables, insecticidas como el DDT, la energía atómica aplicada a la medicina, las transfusiones de sangre, entre muchas otras cuestiones que han favorecido al aumento en la esperanza de vida. (Nudelman, 2004).

Pero, es bien sabido que tal desarrollo se ha producido de manera dispar y a un costo medioambiental muy pronunciado. Sobre todo en estos últimos años se han generado gran cantidad de contaminantes que afectan suelo, agua y aire, provocando impactos ambientales graves tales como el efecto invernadero, el adelgazamiento de la capa de ozono, cambios climáticos y el agotamiento de las fuentes de energía. (Arnáiz, 2003).

En los últimos años se ha despertado en los países altamente desarrollados un creciente interés en motivar un cambio de actitudes, tanto en el sector industrial como en la comunidad científica, a favor de prevenir la contaminación promoviendo un desarrollo ambiental más favorable. (Varsavsky, 2002). Este cambio de paradigma se sustenta en el aporte que nos brinda la Química Verde o Sustentable. La Química Verde comienza a gestarse en la década del `90 siendo Anastas y Warner quienes acuñaron su definición precisa: *“La Química Verde consiste en la utilización de una serie de principios encaminados a reducir o eliminar el uso y generación de sustancias peligrosas en el diseño, manufactura y aplicación de los productos químicos”*. Asimismo Anastas enuncia doce principios que fundamentan esta nueva disciplina. Estos se refieren principalmente al diseño de productos o procesos químicos que reducen o eliminan el uso y producción de sustancias peligrosas para el ambiente. Sirven como guía para el logro de actividad del sector industrial ligado a la producción química; y se convierten, a su vez, en un desafío para los investigadores, ya que los incita a crear procesos “limpios” desde el punto de vista ambiental. (Anastas, 1998)

Si bien la Química Verde ya tiene más de una década, es poco lo que se ha enseñado sobre la misma en la Universidad y nada en las escuelas de Nivel Medio o Polimodal. En el año 2000, Daryle Busch, una autoridad en el tema y ex Presidente de la Sociedad Americana de Química enunció "La Química Verde representa los pilares que mantendrán nuestro futuro sostenible. Es imprescindible enseñar el valor de la Química Verde a los químicos del mañana". (Collins, 1995 y Cann, traducido al español: Ling Ling y Pérez Báez, 2002).

La propuesta de la inclusión de contenidos de Química Verde en los Espacios Curriculares del Nivel Polimodal apunta a la formación de alumnos responsables y comprometidos con los temas ambientales. Al hacerlo intentamos además que tomen conciencia sobre las ventajas de la Química Verde para un desarrollo sostenible y que ellos mismos estén en condiciones de transmitir estos conocimientos a la población en general.

## PROPUESTA

La inclusión de contenidos de Química Verde se realiza en dos Espacios Curriculares Institucionales del segundo y tercer año del Polimodal en la Modalidad Ciencias Naturales con orientación Salud y Medio Ambiente.

Los contenidos a desarrollar y las actividades propuestas, así como sus técnicas de seguimiento y evaluación de los aprendizajes conforman un módulo que permite intercalarse como una unidad independiente.

Las actividades de enseñanza se desarrollaron basándose en las siguientes etapas:

**Presentación del tema:** se inicia con una experiencia disparadora. En la misma el alumno aprenderá sobre el dióxido de carbono y el efecto invernadero. Permite verificar los cambios de temperatura producidos en dos sistemas (frascos de vidrio cerrados), uno de los cuales contiene dióxido de carbono como único componente diferenciante. Expresamente, ambos sistemas se someten a cambios de temperatura exterior durante lapsos de tiempo semejantes mientras se registran las variaciones de temperatura a intervalos regulares. Al finalizar, se cotejan los resultados dando lugar a la discusión del tema. (Henry y Heinke, 1999 y Tyler Miller Jr., 1994).

**Actividades:** a continuación se desarrollan una serie de actividades que involucran tanto intervención de los docentes como los alumnos:

1) Los docentes presentan otras temáticas relacionadas con problemas que alteran el medio ambiente, a esta altura se incluye la definición de la Química Verde y cómo opera, y se analiza: cuándo realmente un determinado producto tóxico es necesario o puede sustituirse por otro menos nocivo para las personas o para el medio ambiente, qué materias primas son las más adecuadas para la preparación de determinados compuestos, qué procesos operativos se pueden introducir para mejorar el rendimiento en una reacción, qué tipos de subproductos se generan en diferentes procesos, entre otros.

2) Se proporciona un material relacionado con los doce principios de la Química Verde de Anastas. Partiendo de una lectura minuciosa y detallada de estas máximas la propuesta contempla varias instancias. Entre ellas, se realiza un análisis y explicación de los principios, contrastando los problemas que suponen las prácticas tradicionales y la importancia de la Química Verde como alternativa para un cambio posible. Se relacionan luego los problemas del medio ambiente con sus posibles soluciones y se plantean cuestiones. Durante el transcurso del módulo se pone énfasis en el cambio de mentalidad que implica el uso y malgasto de recursos económicos remediando malas prácticas si se espera hasta el final de un proceso para ver qué se hace con los subproductos. En este sentido, se resalta que el cambio debe hacerse tangible desde la gestación del proceso, rediseñando los procesos y etapas de síntesis para evitar la generación de subproductos inútiles, evitando el empleo de sustancias tóxicas y el uso excesivo de energía de modo que se permita la sustentabilidad y la plena utilización de los recursos.

3) Las actividades se completan con el análisis de casos, entre otros, la síntesis alternativa del Ibuprofeno, presentada en el libro “Real World Cases in Green Chemistry” de Michael Cann (Cann y Connelly, 2000). En este ejemplo se evidencia el uso de los principios de la Química sustentable para un rediseño del proceso de fabricación del analgésico. Por otra parte, en este caso se exponen claramente las diferencias entre el método tradicional y el método “verde”, haciéndose factible una comparación entre ambos, dado que mientras que el primero de ellos cuenta con seis pasos de síntesis que implican la formación de subproductos con gran consumo energético, el segundo sólo requiere de tres pasos, emplea síntesis catalítica y no genera subproductos.

**Cierre:** se realizan una serie de actividades de debate y discusión, búsqueda de artículos periodísticos, cuestionarios y la ejecución de un trabajo práctico de laboratorio consistente en la extracción de un compuesto de sus fuentes naturales. Específicamente los alumnos realizaron la extracción del limoneno, enantioméricamente puro, de las cáscaras de naranja por destilación por arrastre con vapor de agua. (Noller, 1976). El ejemplo representa la obtención de un producto generado a partir de fuentes renovables, particularmente productos agrícolas, y el compuesto constituye un intermediario de síntesis valioso para la industria de los perfumes. (Para conocer los fundamentos de la destilación por arrastre con vapor de agua los alumnos pueden consultar, por ejemplo, Galagovsky Kurman, 1992).

## RESULTADOS

La inclusión de contenidos de Química Verde en la currícula de los Espacios Institucionales del Polimodal nos permite realizar algunas reflexiones:

- En su mayoría, los jóvenes demuestran interés, inquietud y preocupación en los problemas que afectan al medio ambiente, y en especial cuando se trata de darle solución.
- Se apreció un aumento en la motivación y participación del alumnado frente a la presentación de la temática, mostrando gran interés en la discusión de los principios de la Química Verde y en el análisis de casos donde se compara la Química tradicional con las ventajas de la Química Verde.
- Algo similar ocurrió durante la implementación de la práctica de laboratorio, que despertó su interés en la obtención de un producto natural que a pesar de producirse en poca cantidad, pone en evidencia los beneficios del uso de materias primas renovables agrícolas.
- El cambio actitudinal se evidenció por el alto grado de compromiso y ocupación –en contraposición a la inquietud y preocupación iniciales- que los alumnos mostraron en la calidad de las producciones realizadas.

## CONCLUSIONES

Si bien está claro que muchas industrias y Universidades han reconocido la importancia de la Química Verde, hasta ahora, la presente temática no ha sido incluida en los planes de estudios vigentes. En la búsqueda de una situación ideal, deberíamos lograr que todas las personas fueran capaces de comprender que el avance tecnológico y el bienestar no están reñidos entre sí, y que la Química no sólo implica la proliferación de sustancias tóxicas y nocivas para el medio ambiente, sino que ambos representan caras de una misma moneda, dado que el desarrollo de estrategias desde el ámbito de la Química, y especialmente desde la Química Verde, permitirá el acceso a mejores condiciones en la calidad de vida.

De lo expuesto anteriormente se concluye que la inclusión de un módulo de Química Verde en el ámbito de la Educación Polimodal contribuiría a desmitificar la asociación de la Química con actitudes negligentes en el cuidado del medio ambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anastas, P.T. y Warner J. C.** (1998). *Teoría y Práctica de la Química Verde*. Oxford University Press, New York.
- Arnáiz, J.** (2003). *Química Verde*. <http://www2.ubu.es/gabpres/actualidad/articulos/quimicaverde.shtml>.
- Collins, T. J.** (1995). Introducing Green Chemistry in Teaching and Research. *J. Chem. Educ.* 72, 965.
- Cann, M. C.** En español: **Ling Ling, M. de la C. F. y Pérez Báez S. O.** (2002). *Haciendo verde el plan de estudios de Química*. <http://academic.scranton.edu/faculty/CANNM1/introspan.html>.
- Cann, M. C. y Connelly, M. E.** (2000). *Real World Cases in Green Chemistry.*, ACS, Washington. <http://www.chemistry.org/portal/resources/ACS/ACSContent/education/grenchem/case.pdf>.
- Galagovsky Kurman, L.** (1992). *Química Orgánica, Fundamentos teórico-prácticos para el laboratorio*, EUDEBA, Buenos Aires.
- Henry, G. J. y Heinke, G. W.** (1999). *Ingeniería Ambiental*. Prentice Hall, México.
- Nudelman, N.** (2004). *Química Sustentable*. UNL, Santa Fe, Argentina.
- Noller, C. R.** (1976). *Química de los compuestos orgánicos*. "El Ateneo", Buenos Aires.
- Tyler Miller Jr., G.** (1994). *Ecología y medio ambiente*. Grupo Editorial Iberoamericana, México.
- Varsavsky, A. I.** (2002). *Química Verde y prevención de la contaminación*. Industria y Química, AQA, 2002. 2, 344.

*Este trabajo fue presentado como Comunicación Oral en la XII Reunión de Educadores en la Química, REQ XII, Bernal, Argentina, octubre de 2004.*

## ***De Interés***

### **ELECTROQUÍMICA Y TENSIONES MECÁNICAS**

Sara N. Mendiara y Luis J. Perissinotti\*

Departamento de Química. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales; Universidad Nacional de Mar del Plata.

\* CIC, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.

Funes 3350. Mar del Plata (7600). Provincia de Buenos Aires. Argentina.

E-mail: 792947@copetel.com.ar

#### **RESUMEN**

Las pilas de concentración se estudian, en el nivel universitario, al considerar las celdas galvánicas. Podemos reconocer dos tipos de estas celdas:

1- Las pilas de concentración de electrolito, con y sin transporte.

2- Las pilas de concentración de electrodo, de gas o de amalgama.

El objetivo de esta presentación es mostrar como, de forma similar, puede construirse una celda galvánica si se sumergen dos electrodos metálicos idénticos en un mismo electrolito, pero sometidos a distintas tensiones mecánicas. Uno de los electrodos, libre de tensiones, puede tomarse como referencia. Es posible observar, entonces, diferencias de potencial del orden de milivoltios, en función de las tensiones aplicadas al otro electrodo. El electrodo tensionado presenta un comportamiento anódico, que es coherente con el hecho que las regiones sometidas a tensión en un metal se disuelven preferentemente. El fenómeno puede ser interpretado definiendo una actividad mecano-química, que incluya la energía mecánica de deformación elástica dentro del potencial químico del metal.

Hemos tratado de construir diseños lo más simples posible para la celda. Las mediciones pueden realizarse con un buen multímetro digital.

El tema es interesante y ha sido poco investigado. Se relaciona con el de corrosión bajo tensión, un fenómeno de interés tecnológico.

#### **INTRODUCCIÓN**

Usualmente se considera que la corrosión bajo tensión o corrosión fisurante es aquella que se presenta cuando un metal está sometido, simultáneamente, a la acción de un medio corrosivo y a tensiones mecánicas. En estas condiciones se originan fisuras que pueden ser transgranulares o intergranulares y que se propagan hacia el interior del metal, hasta que las tensiones se relajan o el metal se fractura. Las tensiones mecánicas actúan aquí como un factor agravante de la corrosión, físicamente, por ejemplo rompiendo una película de óxido pasivante (Galvele, 1979).

En general se presta muy poca o nula atención al hecho que una tensión mecánica, ya sea de tracción o compresión, puede actuar como una causa primaria de corrosión,

afectando al potencial químico de un metal e induciendo la aparición de cuplas electroquímicas en las cuales la región tensionada se comporta como ánodo y las no tensionadas o menos tensionadas como cátodo. Si bien las diferencias de potencial generadas son pequeñas, del orden de decenas de milivoltios, son suficientes para dar comienzo a un proceso de corrosión.

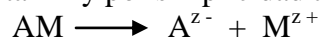
Existen pocos y recientes textos dedicados al estudio de estos fenómenos “mecano-químicos” y “mecano-electroquímicos”, (Gutman, 1994).

Aquí proponemos un esquema experimental simple que permite visualizar dichos fenómenos y un tratamiento teórico elemental basado en una analogía con las pilas de concentración.

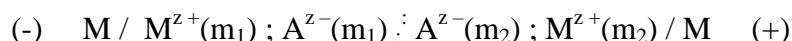
## FUNDAMENTACIÓN

Un desarrollo simple y didácticamente conveniente es plantear la analogía existente con las pilas de concentración (Atkins, 1999; Maron y Prutton, 1968)).

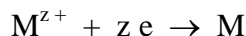
a) Podemos plantear *la pila de concentración de electrolito, con transporte*. Si consideramos al metal M y por simplicidad a una sal AM disociada como:



podemos plantear la pila como:



Si suponemos que la molalidad  $m_2$  es mayor que  $m_1$ , el proceso espontáneo debe ser una transferencia de la sal AM del compartimento de la derecha (cátodo) hacia el compartimento de la izquierda (ánodo). Para que esto ocurra, el electrodo de la derecha debe ser el cátodo de la pila, en el cual ocurre la reducción y le corresponde polaridad positiva (+):



y el de la izquierda será el ánodo donde ocurre la oxidación y tiene polaridad negativa (-):



El potencial reversible de esta pila será:

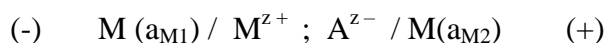
$$\Delta E = \frac{R.T}{z.F} \cdot \ln \frac{m_2 \cdot \gamma_{\pm(2)}}{m_1 \cdot \gamma_{\pm(1)}} + E_u \quad , \quad E_u \text{ , es el potencial de unión líquida y } \gamma \text{ , es el coeficiente de actividad de estado tipo molal.}$$

ó, en un planteo alternativo:

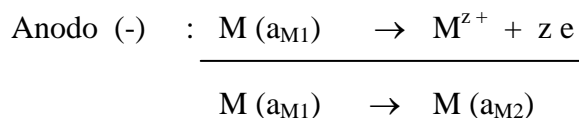
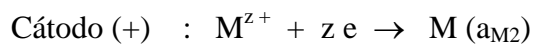
$$\Delta E = 2.t_- \frac{R.T}{z.F} \ln \frac{m_2 \cdot \gamma_{\pm(2)}}{m_1 \cdot \gamma_{\pm(1)}}$$

En esta última ecuación  $t_-$  es el número de transporte del anión  $A^{z-}$ . Si  $t_- = t_+ = 0.5$  resulta  $E_u = 0$

**b)** También existen *las pilas de actividad de electrodo*, en las cuales un único electrolito AM está en contacto con dos electrodos constituidos por el mismo elemento reversible a uno de los iones de dicho electrolito; pero presentando distinta actividad en cada electrodo. El esquema general de la pila sería:



Si consideramos que el electrolito de la derecha es el cátodo (+) y el de la izquierda es el ánodo (-)



Ahora el proceso neto es la transferencia del elemento M a la actividad  $a_{M1}$  en el ánodo hacia el cátodo, donde se halla a una actividad  $a_{M2}$ .

La tensión reversible será:

$$\Delta E = E_{M^{z+}/M}^0 + \frac{R.T}{z.F} \cdot \ln \frac{m_{M^{z+}} \cdot \gamma_+}{a_{M2}} - E_{M^{z+}/M}^0 - \frac{R.T}{z.F} \ln \frac{m_{M^{z+}} \cdot \gamma_+}{a_{M1}}$$

Como la concentración de  $M^{z+}$  en contacto con el ánodo y el cátodo es la misma, resulta:

$$\Delta E = \frac{R.T}{z.F} \ln \frac{a_{M1}}{a_{M2}}$$

En consecuencia, para que la tensión eléctrica de la pila sea positiva, ahora es necesario que:  $a_{M1} > a_{M2}$

Esta diferencia de actividades del elemento M en los dos electrodos puede lograrse de varias maneras:

**I.-** Si el elemento M es un metal que origina amalgama con el Hg (por ejemplo M = Zn, Cd, Pb, Ag, etc.), entonces se puede utilizar como electrodos amalgamas de M con distinta concentración:

$$a_{M1} = (\chi_{M1}) \cdot f_1$$

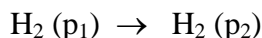
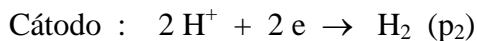
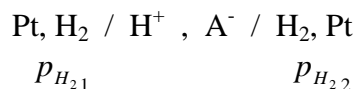
$$a_{M2} = (\chi_{M2}) \cdot f_2$$

$\chi_M$ : fracción molar del metal M en la amalgama;  $f$ : coeficiente de actividad para el estado tipo Raoult:

$$\Delta E = \frac{RT}{z \cdot F} \ln \frac{\chi_{M1}}{\chi_{M2}} \cdot \frac{f_1}{f_2} \quad \chi_{M1} > \chi_{M2}$$

Este tipo de pilas se denomina: *pilas de "concentración de electrodo"*.

**II.-** Si el elemento M es un gas, por ejemplo hidrógeno, a distintas presiones en cada electrodo, se tiene:



El tratamiento termodinámico conduce a una expresión de la tensión eléctrica reversible de la pila, en la que las actividades han sido reemplazadas por las presiones ( ó fugacidades en caso de no idealidad).

$$\Delta E = \frac{RT}{z \cdot F} \ln \frac{p_{\text{H}_2(1)}}{p_{\text{H}_2(2)}}$$

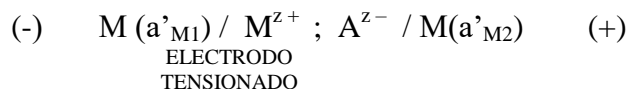
Para que  $\Delta E$  sea positivo debe ser  $p_{\text{H}_2(1)} > p_{\text{H}_2(2)}$  y habrá una transferencia de hidrógeno del ánodo al cátodo.

Estas serían "*Pilas de presión de electrodo*".

**III.-** *Este es el caso particular cuyo estudio presentamos en este trabajo.* Esta tercera posibilidad sería que un único electrolito AM con una dada concentración, permanezca en contacto con dos electrodos constituidos por el mismo elemento metálico (o aleación de la misma composición), pero sometidos a diferentes tensiones mecánicas. Dichas tensiones mecánicas afectarían a los potenciales químicos  $\mu_M$  de los electrodos y por lo tanto a sus actividades, más precisamente actividades mecano-químicas:  $a'$  ; (Gutman, 1998), originando una diferencia de potencial eléctrico entre ambos:

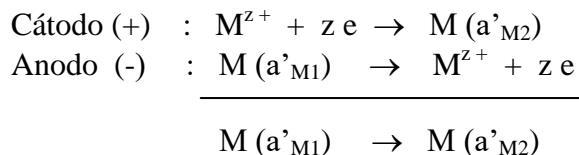
$$\Delta E = \frac{RT}{z \cdot F} \ln \frac{a'_{M1}}{a'_{M2}} \quad \Delta E > 0 \text{ si } a'_{M1} > a'_{M2}$$





*Esquema convencional de la pila*

Los procesos electroquímicos serían:



El proceso neto sería el pasaje de metal M del electrodo con mayor actividad ( $a'_{M1}$ ) hacia el electrodo con menor actividad ( $a'_{M2}$ ), bajo la forma del catión  $M^{z+}$  a través del electrolito. Entonces, si las tensiones mecánicas en el ánodo provocaran que  $a'_{M1} > a'_{M2}$  sería  $\Delta E > 0$ , lo cual se confirma experimentalmente. Es decir que el electrodo tensionado o más tensionado mecánicamente tiene un comportamiento anódico y es por lo tanto el electrodo negativo de la pila.

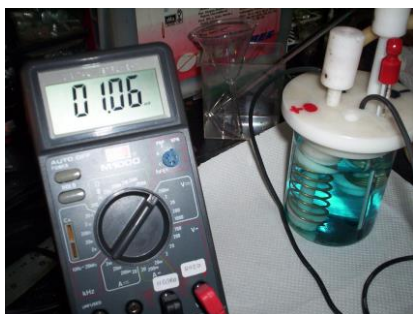
## PARTE EXPERIMENTAL, RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Para diseñar una pila que generara diferencia de potencial eléctrico a partir de tensiones mecánicas, debe disponerse por lo menos de un electrodo metálico que pudiera tensionarse mecánicamente con facilidad y preferentemente de un modo reversible. Las piezas mecánicas que tienen estas propiedades y resultan fácilmente accesibles son los resortes. Usualmente se construyen de hierro o distintas variedades de aceros y también pueden conseguirse de bronce. Como electrolitos reversibles a estos electrodos pueden emplearse soluciones de  $FeSO_4$  para los primeros y de  $CuSO_4$  para los segundos.

En principio ambos electrodos deben ser dos resortes idénticos y debe diseñarse algún medio que permita tensionar por lo menos a uno de ellos. Los contactos eléctricos se logran soldando cables de cobre con vaina plástica a los resortes y cubriendo la zona de la soldadura con algún pegamento epoxi de modo de aislarla del electrolito.

Nosotros hemos construido el sistema de tal forma que permite tensionar ambos resortes alternativamente y verificar la polaridad en cada caso. Se emplea un multímetro digital, cuya sensibilidad sea de milivoltios o décimas de milivoltios. En la figura 1 se muestran tres fotos, las cuales representan tres casos típicos: en la foto central se puede observar que la altura de los soportes de los resortes es la misma, los resortes no están tensionados y la diferencia de potencial es casi nula. Cuando se comprime el resorte de la derecha, observamos en la primera foto un  $\mu v$  positivo. Por otro lado, cuando se comprime el resorte de la izquierda observamos en la tercera foto un  $\mu v$  negativo. Nótese que en la Figura 1, los electrodos quedaron invertidos respecto del esquema convencional de las pilas.

Otra opción es utilizar la función de miliamperímetro o microamperímetro del multímetro y medir la corriente eléctrica y su sentido cuando se tensiona uno de los resortes.



**Figura 1.**

**Podemos observar, en la foto central, que la altura de los soportes de los resortes es la misma. Los resortes no están tensionados y la diferencia de potencial es casi cero. Cuando se comprime el resorte de la derecha, observamos en la primera foto una intensidad positiva. Por otro lado, cuando se comprime el de la izquierda, observamos en la tercera foto una intensidad negativa.**

Otra posibilidad de experimentación es investigar el efecto de la constante de fuerza de los resortes en las tensiones o corrientes eléctricas medidas. Se realizaron, entonces, las mediciones de las constantes de fuerza de los resortes, utilizando simplemente un calibre y dinamómetros. En la Tabla 1 se muestran las características de algunos resortes, uno de bronce y dos de acero, los cuales son de idéntico material pero de distintos tamaños. En la Tabla 2 se muestra la compresión máxima aplicada a cada uno de los resortes y los respectivos milivoltios medidos. Es importante aclarar que se trabajó con los siguientes cuidados:

- i- Se controló la continuidad de cada resorte, para lo cual debe medirse una resistencia baja de aproximadamente 0.4 ohm.
- ii- Se levantó el soporte que contiene los electrodos, separándose del electrolito y se comprobó que no se generaba diferencia de potencial.
- iii- En la solución se burbujeó nitrógeno o dióxido de carbono con el objeto de desoxigenar.

Resorte	altura cm	diámetro cm	espesor cm	constante de fuerza Newton.m <sup>-1</sup>
Bronce	4.6	2.9	0.18	385
acero a	4.4	2.6	0.30	15985
acero b	3.2	3.2	0.14	2550

\* Los resortes se nombraron acero a y acero b solamente para distinguir las diferencias de tamaño

resorte	compresión	milivoltios
bronce	máxima	2,3
acero a	máxima	21
acero b	máxima	10

Podemos decir que se cumplió con el objetivo principal del trabajo, dado que se evidenció el desarrollo de una polaridad en los electrodos simétricos, cuando uno de ellos es tensionado. Además, los resultado de las mediciones realizadas y mostradas en la Tabla 2. permiten concluir que el efecto de la compresión se incrementa cuanto mayor es la constante de fuerza.

Proponemos como otro estudio, seguir la corrosión cuando, estando uno de los electrodos tensionado, se cortocircuita la pila y se la abandona en esta situación un cierto tiempo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atkins, P. W.** (1999). *Physical Chemistry*, Sixth edition. Oxford University Press. N.Y.
- Galvele, J. R.** (1979). *Corrosión*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington, D. C.
- Gutman, E. M.** (1998). *Mechanochemistry of Materials*. Cambridge International Science Publishing. Cambridge, UK.
- Gutman, E. M.** (1994). *Mechanochemistry of solid surfaces*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore.
- Maron, S. H. y Prutton, C. F.** (1968). *Fundamentos de Físicoquímica*. Editorial Limusa Wiley, S. A., México.

*Este trabajo fue presentado como Comunicación Oral en la XII Reunión de Educadores en la Química, REQ XII, Bernal, Argentina, octubre de 2004.*

## ***De interés***

### **¿Y SI TODOS LOS QUÍMICOS FUERAN A LA HUELGA? (Ciencia ficción)**

**Armand Lattes**

Paul Sabatier University, Toulouse, France  
[lattes@chimie.ups-tlse.fr](mailto:lattes@chimie.ups-tlse.fr)

¡La decisión había sido tomada! En la Asamblea General de su conferencia internacional, los químicos del mundo decidieron cesar de inmediato todo trabajo, análisis y actividades. Esta decisión se tomó ante la incesante crítica que durante casi un siglo los consumidores, autoridades públicas y grupos de interés les habían arrojado a través de los medios. Los químicos, interesados como han estado por el bienestar público y preocupados por proteger a los individuos, no pudieron soportar más su status de descastados. Acusados por buena parte de la sociedad como responsables de todos los males, estos químicos se encontraban en realidad luchando para detectarlos y corregirlos.

Fue así que con tristeza, pero determinación, se separaron para retornar a sus países de origen y dedicar sus vidas a otras actividades. Al comienzo la decisión fue unánimemente saludada con exclamaciones de alivio. Los grupos ecológicos estaban felices al ver retroceder su blanco favorito, mientras que las asociaciones de consumidores aplaudían el retorno al ambiente natural, que consideraban arruinado por las actividades químicas. Importantes personalidades—tanto de la derecha como de la izquierda del espectro político—se atribuían el mérito de la situación.

Durante un tiempo el público apenas notó algún cambio. Curiosamente, el efecto sobre la contaminación atmosférica fue prácticamente nulo: las refinerías tenían suficientes reservas de combustible y los vehículos continuaron funcionando. Muchos notaron un hecho que los químicos ya sabían: el principal culpable de la contaminación del aire era el motor de los vehículos. La industria química contribuye solo a una pequeña fracción de la contaminación global.

Los primeros signos de cambio aparecieron cuando las reservas de combustible empezaron a agotarse. Al no tener químicos para supervisar los procesos de refinación o los análisis para controlar la calidad de los productos finales, se hizo necesario detener el flujo de petróleo. Así, el gobierno tomó algunas decisiones impopulares: primero se introdujo un sistema de racionamiento, luego las reservas fueron requisadas para sectores prioritarios tales como salud, ambulancias, los militares, etc.

El primer invierno no presentó problemas dadas las precauciones tomadas por la gente, que había mantenido sus depósitos llenos de combustible. Pero rápidamente comprendieron que no podrían renovar sus existencias. Felizmente, muchos ya habían elegido usar totalmente sistemas eléctricos y las plantas nucleares continuaban operando

(sin supervisión de químicos). Esto pareció, al principio, limitar las consecuencias de no tener combustible.

Sin embargo, había un perceptible descontento—claro que no en los grupos de protección ambiental que estaban registrando una apreciable disminución en la contaminación del aire con ayuda de aparatos de detección automática. Pero pronto empezaron a escasear los reactivos necesarios para monitorear la contaminación y luego se tornó imposible el funcionamiento de todas las formas de detección

Al final de esta fase, se hizo común el uso de métodos alternativos. La gente empezó a utilizar bicicletas y abandonó los autos a medida que se agotaban las reservas de nafta. Con la ausencia de vehículos motorizados, las sendas para bicicletas pudieron ser utilizadas sin temor a ser atropellados.

Pero el uso intensivo de las bicicletas tuvo una consecuencia inesperada: excesivo gasto de los neumáticos. El mal estado de las calles públicas, que estaban perdiendo capas de asfalto, implicaba que las cubiertas se gastaban rápidamente. Pronto la gente aprendió que el pavimento de las calles y las cubiertas de goma son el resultado de síntesis químicas. Cuando los neumáticos ya no pudieron ser reemplazados, las bicicletas también fueron abandonadas.

Con el comienzo del segundo invierno, el problema de la calefacción se tornó muy serio. La segunda erupción del volcán Pinatubo en las Filipinas había contaminado la atmósfera hasta una altura de 24 kilómetros, destruyendo 20% de la capa de ozono y causando una violenta caída de la temperatura global. La gente, al no tener la mayoría de sus fuentes normales de energía, comenzó a usar las antiguas tales como carbón y madera.

Pero al no haber químicos para supervisar los procesos de quemado se produjeron gases sulfurosos y aun ácidos en cantidades masivas. Esto produjo un aumento en los casos de asma y la destrucción de bosques por la lluvia ácida. Además, se produjeron numerosos casos de envenenamiento con monóxido de carbono debido a las calderas y calentadores modificados incorrectamente.

La madera todavía era abundante, en especial debido al cierre de las fábricas de papel. Francia, un país con extensos bosques, utilizó sus reservas. Pero éstas pronto disminuyeron debido a la lluvia ácida y al ataque de parásitos que se tornaban virulentos ante la falta de pesticidas.

Los problemas nunca vienen solos. Un incidente en una planta nuclear, unido a la falta de controles químicos en el desarrollo del núcleo o en el entorno, obligó a las autoridades a tomar medidas de emergencia que llevaron a la clausura de todas las centrales energéticas. Con un limitado abastecimiento de electricidad y con los viajes limitados a distancias cortas, los humanos empezaron a retroceder a sus instintos tribales: los ricos se tornaban celosos de sus posesiones y poco propensos a compartirlas. Como resultado, los conflictos “tribales” se tornaron comunes y se constituyeron belicosos regímenes locales.

La decisión de los químicos también afectó la disponibilidad de alimentos. Se volvió imposible preparar aun los más sencillos platos que requerían ingredientes habituales. Por ejemplo el azúcar, el más común y barato de los productos químicos, se tornó escasa al no disponer de los métodos para extraerla de la remolacha y purificarla. Además, sin fertilizantes se produjo una masiva caída en todas las formas de producción vegetal. Los

rendimientos de los granos bajaron a los niveles del siglo diecinueve, mientras que los vegetales, atacados por insectos, se volvieron más y más escasos. La cantidad de ganado y de animales de granja se redujo por la falta de alimentos y medicinas para tratar sus enfermedades.

La leche debió ser racionada ya que los métodos para estabilizarla no estaban disponibles. La carne debía ser consumida rápidamente dado que no había agentes conservadores ni envolturas plásticas o de cartón.

La expectativa de vida bajó rápidamente, dado que los seres humanos se vieron limitados en sus movimientos, atrapados por el frío y restringidos a alumbrarse con velas de sebo (un invento de un químico). Rápidamente ciertas enfermedades cobraron importancia debido a la falta de medicinas—la mayoría de las cuales son producidas por síntesis química. Así la gente aprendió que:

- las únicas medicinas disponibles contra el SIDA provenían de preparados químicos;
- ciertas hormonas, tales como las píldoras anticonceptivas, eran completamente fabricadas por químicos;
- ¡la aspirina era un producto químico!

En el área de la vestimenta, las fibras artificiales habían desaparecido y con ellas la variedad de materiales que protegían contra el frío, el calor y el mal tiempo. Se tornaron dominantes las fibras naturales: lana (pero la cantidad de ovejas estaba disminuyendo), luego el algodón, pero sin pesticidas campos enteros eran destruidos.

La situación era intolerable. La población ya no tenía forma de expresarse. No había más papel o tinta para impresiones y la radio y TV ya no emitían debido a que no se podían reemplazar desde cables hasta componentes electrónicos.

En respuesta, se organizaron foros donde todos podían expresar sus opiniones. Se llegó a un acuerdo unánime: debería despacharse una delegación para persuadir a los políticos de que este estado de cosas debía cesar y que los químicos debían retornar a sus tareas. Provenientes de toda Francia, por diferentes medios, a caballo, en carros y a pie, una delegación fue recibida en el Palacio del Elíseo.

Un comité, dirigido por el vicepresidente del Senado y el consejero científico del presidente de la República (ambos ex -químicos), fue comisionado para convencer a los químicos de retomar sus actividades. Pero antes, había que localizarlos:

- Pierre Potier había abierto una herboristería
- Jean –Marie Lehn era organista en la Catedral de Estrasburgo
- Robert Carrie era entrenador del equipo de fútbol de Rennes
- Armand Lattes, antiguo coreuta, se había unido al Teatro Capitole en Toulouse
- Andrée Marquet había abierto su propio restaurant
- Robert Corriu era un experto en vinos
- Pham Tan Luu y Emile Vincent habían tomado los hábitos.

Así, los franceses descubrieron estupefactos que detrás de la química había químicos. Estos eran hombres y mujeres, iguales a ellos, tan respetuosos de la naturaleza y el entorno.

Al comienzo de las negociaciones hubo dudas de parte de los químicos que recordaban las pasadas quejas. Finalmente, sin embargo, se mostraron dispuestos a firmar un acuerdo, con la condición de que la comunidad aceptara cierto número de reglas que se reunieron en una carta constitucional:

- 1) *Los firmantes, habiendo reconocido los aportes positivos de los químicos, ya no considerarán a los químicos o sus especialidades responsables de todos los males.*
- 2) *Cada vez que sea necesario, los químicos serán premiados por sus logros en lugar de que éstos sean atribuidos a otras disciplinas.*
- 3) *En lugar de destacar los aspectos negativos de un descubrimiento químico, se realizará un análisis objetivo de su contribución a la sociedad antes de formular cualquier juicio o tomar una decisión.*

*Por su parte, los químicos se comprometen a volver al trabajo y continuar con sus esfuerzos para establecer una civilización duradera, respetuosa de la humanidad y su entorno, y que garantice los efectos positivos del progreso para futuras generaciones.*

**Traducción de Luz Lastres**

Esta historia, en forma de “cartas de lectores” se publicó en Chemistry International, November-December 2003, donde se indica que la historia original, en francés, está en el sitio web de la French Chemical Society. Algunas continuaciones de la historia, creadas por estudiantes de la University of Cergy Pontoise, están disponibles en el sitio [www.sfc.fr](http://www.sfc.fr), sección Les dossiers de la SFC.



## ***Hojeando revistas***

### **LOS PIGMENTOS DE LA VIDA, UNA LARGA INVESTIGACIÓN**

Daniel Bartet Pastene

Departamento de Química, Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación.  
Santiago, Chile  
e-mail: dbartet@umce.cl

El conocimiento que hoy se tiene acerca de la estructura y función de la clorofila y la hemoglobina, los pigmentos de la vida, es una larga historia de investigaciones en la que han participado químicos de diversas nacionalidades, que se inicia a comienzos del siglo XIX y se extiende hasta la década de los sesenta del siglo XX.

La historia comienza en 1817, en el laboratorio de los farmacéuticos parisinos Pierre Joseph Pelletier y Joseph-Bienaimé Caventou, cuando lograron aislar de las hojas de las plantas de su botica a una sustancia verde, a la que llamaron “clorofila”, palabra formada por vocablos griegos que significan “hoja verde”. El nombre de estos farmacéuticos también está asociado al de la quinina, un alcaloide que extrajeron de la corteza de la chinchona peruana y que se emplea en el tratamiento de las fiebres palúdicas.

Luego de aislada la clorofila, se necesitó casi un siglo para establecer su estructura. En 1906, el químico alemán Richard Willstaetter<sup>1</sup> inició un estudio sistemático del pigmento verde de las plantas. Usando técnicas cromatográficas descubrió que la clorofila es una mezcla de dos compuestos, a los que llamó “clorofila a” y “clorofila b”, y que la primera era la más abundante, unas tres cuartas partes de la mezcla. Luego estableció las fórmulas empíricas de ambos compuestos y al hacerlo encontró que junto a los átomos de carbono, oxígeno y nitrógeno, las clorofilas contenían magnesio. Esto constituyó una sorpresa, la clorofila era el primer compuesto producido por tejidos vivos en el que se había descubierto ese elemento. El paso siguiente fue determinar la estructura de la clorofila; para ello Willstaetter procedió a romperla en fragmentos y a estudiar la estructura de cada uno de ellos. Así, pudo establecer que cada uno de los cuatro átomos de nitrógeno de la clorofila, formaban parte de un anillo de pirrol. Llegado a este punto, Willstaetter abandonó

---

<sup>1</sup> Willstaetter nació en la ciudad alemana de Karlsruhe el 13 de agosto de 1873 y murió en Locarno (Suiza) el 3 de agosto de 1942. Provenía de una familia de origen judío, por lo que sufrió las persecuciones antisemíticas de la Alemania de Hitler; esto lo obligó a exiliarse en Suiza en 1939, donde vivió hasta su muerte. Estudió en la Universidad Técnica de Munich, siendo uno de sus profesores el químico Adolfo von Baeyer, de quien llegó a ser su auxiliar de cátedra. Fue profesor del Instituto Politécnico de Zurich, miembro del Instituto del Kaiser Guillermo y en 1916 fue nombrado profesor de la Universidad de Munich, cargo al que renunció en 1924, como protesta por la persecución iniciada contra los judíos, aunque siguió dirigiendo los trabajos de investigación que realizaban sus colaboradores.

su investigación. Sin embargo, por lo que había hecho recibió el Premio Nobel de Química en 1915.

Las investigaciones de Willstaetter sobre la estructura de la clorofila fueron retomadas por otro químico alemán y también profesor de la Universidad de Munich, el Dr Hans Fischer<sup>2</sup>. Este centró su interés en dilucidar la estructura del pigmento rojo de la sangre, el grupo “hemo” de la hemoglobina. Para estudiar el pigmento, Fischer procedió a fragmentar el grupo hemo, como antes lo había hecho Willstaetter con la clorofila. Este procedimiento le permitió encontrar grupos pirrol en la estructura de los fragmentos resultantes. Posteriores investigaciones lo llevaron al convencimiento que los grupos pirrol estaban unidos entre sí formando un gran anillo, en cuyo centro se alojaba el átomo de hierro, como el de magnesio se encuentra en la clorofila; a este convencimiento se llegó luego de sintetizar el grupo hemo. Por estos aportes, Fischer fue galardonado en 1930 con el Premio Nobel de Química.

Esta prolongada investigación relativa a la clorofila y la hemoglobina, parece haber llegado a su fin a comienzos de la década de los sesenta. En efecto, en 1959 el químico austríaco y director del Medical Research de Cambridge, Max F. Perutz estableció la estructura de la globina, esto es la proteína de la hemoglobina. En reconocimiento a su trabajo recibió en 1962 el Premio Nobel de Química y compartió este galardón con John C. Kendrew por sus investigaciones acerca de la estructura de la mioglobina, la proteína de la miohemoglobina.

Por otra parte, el químico orgánico norteamericano Robert Burns Woodward logró sintetizar en 1960 la clorofila, confirmando así la estructura propuesta por Willstaetter y Fischer. Por este y otros trabajos de síntesis orgánica, Woodward recibió en 1965 el Premio Nobel de Química.

Quiminotas, año 9, nº1, 1993

---

<sup>2</sup> Hans Fischer nació el 27 de julio de 1881 en Höchst, Alemania y combinó sus estudios de Química con los de Medicina. En 1904 obtuvo su doctorado en Química y en 1908 el de medicina en Munich. Inició sus actividades docentes y de investigador en el Instituto Emil Fischer de Berlín, pasando después a Innsbruck (Austria) a una cátedra de Química médica y finalmente en 1921 a la Universidad de Munich en la cátedra de Química Orgánica. También estudió el caroteno, pigmento amarillo precursor de la vitamina A. Fischer murió en Munich el 31 de marzo de 1945.

## **Contenido de los volúmenes 5 al 10**

Recordamos a nuestros colegas que en el Vol 4, N° 3 apareció el índice correspondiente a los vol. 2 a 4.

### **VOLUMEN 5 1999**

**VOLUMEN 6**  
**2000**

**VOLUMEN 7**  
**2001**

**VOLUMEN 8**  
**2002**

**VOLUMEN 9**  
**2003**

**VOLUMEN 10**  
**2004**